

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Kenji NISHI

Application No.: PCT/JP99/0363

Filed: July 28, 2000

Docket No.: 106827

For: EXPOSURE METHOD AND APPARATUS

CLAIM FOR PRIORITY

Director of the U.S. Patent and Trademark Office
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 10-017222 filed January 29, 1998

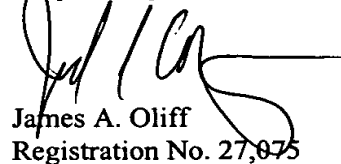
In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

 X is filed herewith.

 was filed on in Parent Application No. filed .

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. § 119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,


James A. Oliff
Registration No. 27,875

Joel S. Armstrong
Registration No. 36,430

JAO:JSA/cmm
Date: July 28, 2000

OLIFF & BERRIDGE, PLC
P.O. Box 19928
Alexandria, Virginia 22320
Telephone: (703) 836-6400

**DEPOSIT ACCOUNT USE
AUTHORIZATION**
Please grant any extension
necessary for entry;
Charge any fee due to our
Deposit Account No. 15-0461

JC873 U.S. PTO
09/628310
07/28/00

#2
170400
R. Talley

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1998年 1月29日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第017222号

出 願 人

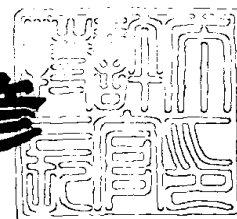
Applicant (s):

株式会社ニコン

2000年 6月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特2000-3044323

【書類名】 特許願

【整理番号】 97P01092

【提出日】 平成10年 1月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 投影露光方法及び装置

【請求項の数】 11

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
 内

 【氏名】 西 健爾

【特許出願人】

 【識別番号】 000004112

 【氏名又は名称】 株式会社ニコン

 【代表者】 吉田 庄一郎

【代理人】

 【識別番号】 100098165

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大森 聡

 【電話番号】 044-900-8346

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 019840

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9115388

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影露光方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定のパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、前記基板を移動する基板ステージと、を用い、前記基板を前記投影光学系に対して相対移動することにより、前記パターンの像を前記基板上に転写する投影露光方法において、

前記投影光学系による露光領域に対して走査方向に手前側の複数の計測点で前記基板の表面の高さを先読みするのと並行して、

前記基板の走査方向に対する前記基板ステージのピッチング量を計測し、

該ピッチング量の計測結果に基づいて前記基板の表面の高さの変動量を予測し、

該予測結果、及び前記先読みされる前記基板の表面の高さに基づいて前記投影光学系の露光領域で前記基板の表面を前記投影光学系の像面に近付けて走査露光を行うことを特徴とする投影露光方法。

【請求項 2】 所定のパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、前記基板を移動する基板ステージと、を用い、前記基板を前記投影光学系に対して相対移動することにより、前記パターンの像を前記基板上に転写する投影露光方法において、

前記基板ステージ上に配置した平面度の良好な基板保持部材上に形成された基準マークを用いて前記基板ステージの走り方向の真直度を計測すると共に、

前記基板ステージの移動ストローク内の複数の位置で前記基板ステージのローリング量、ピッチング量、及び前記投影光学系の光軸方向への変位量を計測しておき、

該計測結果に基づいて前記基板に対する走査露光時に前記基板ステージの走り方向、及び前記基板の表面の高さの補正を行うことを特徴とする投影露光方法。

【請求項 3】 所定のパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、前記基板を移動する基板ステージと、を備え、前記基板を前記投影光学系に対して相対移動することにより、前記パターンの像を前記基板上に転写する投影露光装置

において、

前記投影光学系による露光領域に対して走査方向に手前側の複数の計測点で前記基板の表面の高さを先読みする焦点位置計測系と、

前記基板の走査露光時の移動方向に対する前記基板ステージのピッチング量を計測するピッチング計測系と、

該ピッチング計測系の計測結果に基づいて予測される前記基板の表面の高さの変動量、及び前記焦点位置計測系によって先読みされる前記基板の表面の高さに基づいて前記投影光学系の露光領域で前記基板の表面を像面に合わせ込む合焦用ステージ系と、を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 所定のパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、前記基板を移動する基板ステージと、を備え、前記基板を前記投影光学系に対して相対移動することにより、前記パターンの像を前記基板上に転写する投影露光装置において、

前記投影光学系による露光領域に対して走査方向に手前側の複数の第1の計測点で前記基板の表面の高さを先読みする第1の焦点位置検出系と、

前記第1の計測点の近傍の第2の計測点で前記基板の表面の高さを大まかに先読みする第2の焦点位置検出系と、

該第2の焦点位置検出系の先読み計測値に基づいて前記基板の表面の高さを前記第1の焦点位置検出系の検出可能範囲に収める合焦用ステージ系と、を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項5】 前記走査方向に関し、前記第2の計測点は前記第1の計測点の更に手前に配置されていることを特徴とする請求項4記載の投影露光装置。

【請求項6】 前記第2の計測点を複数設けたことを特徴とする請求項4、又は5記載の投影露光装置。

【請求項7】 前記第2の焦点位置検出系の検出レンジは、前記第1の焦点位置検出系の検出レンジより広いことを特徴とする請求項4、5、又は6記載の投影露光装置。

【請求項8】 投影光学系を介して形成される所定のパターンの像と基板とを所定の走査方向に相対移動することにより、前記パターンの像を前記基板上に

転写する投影露光方法において、

前記走査方向に関して、前記投影光学系による露光領域より先に、前記基板上の転写領域に到達する第1の計測点で所定の基準面に対する前記基板の高さ位置を計測する第1工程と；

前記走査方向に関して、前記第1の計測点より先に、前記基板上の転写領域に到達する第2の計測点で前記所定の基準面に対する前記基板の高さ位置を計測する第2工程と；を有することを特徴とする投影露光方法。

【請求項9】 前記所定のパターンは、マスク上に形成された転写用のパターンであることを特徴とする請求項1、2、又は8記載の投影露光方法。

【請求項10】 前記基板の前記投影光学系の光軸方向の位置の制御は、先読みされた高さの最大値と最小値との中間値に基づいて実行し、前記基板の傾斜角の制御は位相回転誤差を先読みされた高さを用いて補正するように実行することを特徴とする請求項4～7の何れか一項記載の投影露光装置。

【請求項11】 前記所定のパターンは、マスク上に形成された転写用のパターンであることを特徴とする請求項3～7、又は10の何れか一項記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程中で、マスクパターンを感光性の基板上に転写するために使用される投影露光方法及び装置に関し、特にステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

例えば半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンをフォトレジストが塗布されたウエハの各ショット領域に転写するための露光装置として、従来はステップ・アンド・リピート方式（一括露光型）の縮小投影型露光装

置（ステッパー）が多用されていた。これに対して最近、投影光学系に対する負担をあまり重くすることなく、高精度に大面積の回路パターンを転写するという要請に応えるために、レチクル上のパターンの一部を投影光学系を介してウエハ上に投影した状態で、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期移動することにより、レチクル上のパターンの像を逐次ウエハ上の各ショット領域に転写する所謂ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が注目されている。

【0003】

ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置においても、一括露光型と同様に投影光学系の像面に対してウエハの表面を合わせ込んだ（合焦した）状態で露光を行う必要がある。ところが、走査露光型では、投影光学系による露光領域に対してウエハの表面が移動して露光が行われるため、ウエハの表面に段差等が存在する場合には、予めその段差等を検出しておくことが望ましい。そこで、走査露光型では、例えば特開平6-283403号公報に開示されているように、露光領域に対して走査方向に手前側の先読み領域でウエハの表面のフォーカス位置（投影光学系の光軸方向の位置）を検出し（先読みし）、この検出結果に基づいてオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式でウエハの表面のフォーカス位置、及び傾斜角を制御する先読み制御技術が開発されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

上記の如く従来の走査露光型の投影露光装置では、先読み制御技術を用いることによって、移動しているウエハの表面を投影光学系の露光領域で像面に対して所定の許容範囲内で合焦させることが可能となっていた。また、従来の投影露光装置において、例えばウエハを駆動するためのウエハステージとしては、真直度の良好なガイドに沿って接触式で可動ステージを駆動する方式（以下、「接触型ガイド方式」と呼ぶ）が主に採用されていた。

【0005】

これに対して、最近では、露光工程のスループットを向上するために、ウエハを高速に移動する必要性が高まっているため、少なくとも部分的には平面度の良好

なガイドに沿ってエアガイド（空気軸受）を介して可動ステージを配置して、リニアモータを用いて非接触にその可動ステージを駆動する方式、又は少なくとも部分的には平面度の良好なガイド面上に磁気浮上方式で可動ステージを支持して、リニアモータを用いて非接触でその可動ステージを駆動する方式のような、非接触ガイド方式のステージ装置が主流となって来ている。これらの非接触ガイド方式のステージ装置は、ガイド面上の異物によって影響されにくく、メンテナンス性に優れていると共に、水平方向へのガイドとしての定盤からの振動が可動ステージに伝わりにくい等の多くの利点がある。

【0006】

しかしながら、非接触ガイド方式のステージ装置は、接触型ガイド方式と比べると、ガイド面に沿って比較的大きいピッチで比較的大きい振幅のうねりが存在する傾向があり、先読み制御技術を用いてオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で合焦を行う場合でも、露光対象のウエハの表面がデフォーカスする恐れがあった。即ち、従来の先読み制御では、ウエハ表面のフォーカス位置の先読み位置から露光位置までのウエハステージの走り面の平面度は良好であるものとして制御されていたため、その走り面の平面度が悪い場合、その走り面の傾斜角と、その先読み位置から露光位置までの距離との積に応じたデフォーカス量が残存する恐れがあった。

【0007】

最近では、転写対象の回路パターンの一層の微細化に対応するため、投影光学系の開口数が更に増大し、これに伴って投影像の焦点深度が狭くなっているため、そのようなウエハステージの走り面の傾斜角に基づくデフォーカス量も無視できない状況になって来ている。

本発明は斯かる点に鑑み、走査露光方式で露光を行う場合に露光対象の基板の表面を高精度に像面に合わせ込むことができる投影露光方法を提供することを第1の目的とする。

【0008】

更に本発明は、走査露光方式で露光を行う場合に、露光対象の基板を移動するためのステージの走り面の傾斜角が緩やかに変化しているような場合でも、走査

露光中にその基板の表面を高精度に像面に合わせ込むことができる投影露光方法を提供することを第2の目的とする。

また、本発明はそのような投影露光方法を使用できる投影露光装置を提供することを第3の目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明による第1の投影露光方法は、所定のパターン（例えばマスク上の転写用のパターン）の像を基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、その基板を移動する基板ステージ（10）と、を用い、その基板を投影光学系（PL）に対して相対移動することにより、そのパターンの像をその基板上に転写する投影露光方法において、投影光学系（PL）による露光領域に対して走査方向に手前側の複数の計測点でその基板の表面の高さを先読みするのと並行して、その基板の走査方向に対するその基板ステージのピッチング量を計測し、このピッチング量の計測結果に基づいてその基板の表面の高さの変動量を予測し、この予測結果、及びその先読みされるその基板の表面の高さに基づいて、その投影光学系の露光領域でその基板の表面をその投影光学系の像面に近付けて走査露光を行うものである。

【0010】

斯かる本発明によれば、その基板ステージのピッチング量は、その基板ステージの走り面の傾斜角の変化量を表している。そこで、そのピッチング量に応じてその基板の高さを補正することによって、その走り面の傾斜角が変化している場合でも、走査露光時により高精度にその基板の表面をその投影光学系の像面に合わせ込むことができる。

【0011】

また、本発明による第2の投影露光方法は、所定のパターン像を基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、その基板を移動する基板ステージ（10）と、を用い、その基板をその投影光学系に対して相対移動することにより、そのパターンの像をその基板上に転写する投影露光方法において、その基板ステージ上に配置した平面度の良好な基板保持部材（8，89）上に形成された基準マーク

(91A~91C)を用いてその基板ステージの走り方向の真直度を計測すると共に、その基板ステージの移動ストローク内の複数の位置でその基板ステージのローリング量、ピッチング量、及びその投影光学系の光軸方向への変位量を計測しておき、この計測結果に基づいてその基板に対する走査露光時にその基板ステージの走り方向、及びその基板の表面の高さの補正を行うものである。

【0012】

斯かる本発明によれば、予めその基板ステージのローリング量、及びピッチング量等の分布を計測しておくことによって、容易にその基板ステージの走り面の傾斜角の分布が計測される。そこで、その走り面の傾斜角の変化量に応じてその基板の高さを補正することで、より高精度にその基板の合焦を行うことができる。

【0013】

次に、本発明による第1の投影露光装置は、所定のパターン（例えばマスクに形成された転写用のパターン）の像を基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、その基板を移動する基板ステージ（10）と、を備え、その基板を投影光学系（PL）に対して相対移動することにより、そのパターンの像をその基板上に転写する投影露光装置において、投影光学系（PL）による露光領域（46）に対して走査方向に手前側の複数の計測点（81A~81E）でその基板の表面の高さを先読みする焦点位置計測系（44A）と、その基板の走査露光時の移動方向に対するその基板ステージのピッチング量を計測するピッチング計測系（12Y, 13Y, 14Y, 15Y）と、このピッチング計測系の計測結果に基づいて予測されるその基板の表面の高さの変動量、及びその焦点位置計測系によって先読みされるその基板の表面の高さに基づいて投影光学系（PL）の露光領域（46）でその基板の表面を像面に合わせ込む合焦用ステージ系（45, 9）と、を有するものである。

【0014】

斯かる投影露光装置によれば、本発明の第1の投影露光方法が実施できる。

次に、本発明による第2の投影露光装置は、所定のパターンの像を基板（W）上に投影する投影光学系（PL）と、その基板を移動する基板ステージ（10）

と、を備え、その基板を投影光学系（PL）に対して相対移動することにより、そのパターンの像をその基板上に転写する投影露光装置において、投影光学系（PL）による露光領域（46）に対して走査方向に手前側の複数の第1の計測点（81A～81E）でその基板の表面の高さを先読みする第1の焦点位置検出系（51～64）と、その第1の計測点の近傍（例えばその第1の計測点に対して更に走査方向に手前側）の第2の計測点（84A, 84B）でその基板の表面の高さを大まかに先読みする第2の焦点位置検出系（65～74）と、この第2の焦点位置検出系の先読み計測値に基づいてその基板の表面の高さをその第1の焦点位置検出系の検出可能範囲に収める合焦用ステージ系（9）と、を有するものである。

【0015】

斯かる第2の投影露光装置によれば、その第1の焦点位置検出系としては、一例として検出可能範囲（検出レンジ）は狭くとも検出分解能（精度）が極めて細かい（高い）検出系を使用する。この結果、その基板ステージの走り面の傾斜角が部分的に大きく変化すると、その基板上の第1の計測点はその第1の焦点位置検出系の検出可能範囲から外れ易くなる。このようにその第1の計測点はその検出可能範囲から外れたときには、例えば検出分解能はそれ程細かくなくとも検出可能範囲の広い第2の焦点位置検出系によって、その第1の計測点の近傍でのその基板の高さを大まかに計測し、この計測結果よりその第1の計測点の近傍での高さ（フォーカス位置）を投影光学系（PL）の像面に合わせ込むことによって、その第1の計測点の高さはその第1の焦点位置検出系の検出可能範囲内に収められる。従って、本発明の第1の投影露光方法を容易に実施できるようになる。

【0016】

この場合、その走査方向に関して、その第2の計測点（84A, 84B）はその第1の計測点（81A～81E）の更に手前に配置されることが望ましい。このように第2の計測点を手前に配置することで、走査露光が始まる前に基板の表面を像面に合わせ込んでおくことができる。

また、その第2の計測点（84A, 84B）は複数設けることが望ましい。複数の計測点での計測結果より基板の傾斜角をも大まかに補正することができる。

【0017】

また、その第2の焦点位置検出系の検出レンジは、その第1の焦点位置検出系の検出レンジより広いことが望ましい。これによって、その基板のエッジ部でその基板の高さが大きく変動しているような場合でも、その第2の焦点検出系でその基板の高さを検出できる。

また、本発明の第2の投影露光装置においては、その基板のその投影光学系の光軸方向の位置の制御（オートフォーカス制御）は、複数点（望ましくは5点、又はそれ以上）で先読みされたフォーカス位置の最大値と最小値との中間値に基づいて実行し（max-min制御）、その基板の傾斜角の制御（オートレベルリング制御）は、位相回転誤差を先読みされたフォーカス位置を用いて補正するように実行することが望ましい。シミュレーションによれば、この条件のときにデフォーカス量の残留誤差が種々の波長のうねりに対して全体として小さくなる。

【0018】

次に、本発明による第3の投影露光方法は、投影光学系（PL）を介して形成される所定のパターンの像と基板（W）とを所定の走査方向に相対移動することにより、そのパターンの像をその基板上に転写する投影露光方法において、その走査方向に関して、その投影光学系による露光領域（46）より先に、その基板上の転写領域に到達する第1の計測点（81A～81E）で所定の基準面に対するその基板の高さを計測する第1工程と、その走査方向に関して、その第1の計測点より先に、その基板上の転写領域に到達する第2の計測点（84A, 84B）でその所定の基準面に対するその基板の高さを計測する第2工程と、を有するものである。

【0019】

斯かる第3の投影露光方法によれば、その第2の計測点で例えば広い検出レンジで大まかにその基板の高さを検出することで、その基板の高さをその第1の計測点における例えば高分解能ではあるが狭い検出レンジに引き込んでおくことができる。従って、基板の表面の段差が大きいような場合でも、その基板の表面を高精度に像面に合わせ込むことができる。

【0020】

また、上記の本発明の投影露光方法、又は投影露光装置における所定のパターンの一例は、マスク上に形成された転写用のパターンである。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用したものである。

図1は本例のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示し、この図1において露光時には、光源、フライアイレンズ、視野絞り、コンデンサレンズ等を含む照明光学系1からの水銀ランプの*i*線、又はエキシマレーザ光等の露光光ILが、レチクルRのパターン面（下面）のスリット状の照明領域を照明する。露光光ILのもとで、レチクルRの照明領域内のパターンの像が投影光学系PLを介して所定の投影倍率 β （ β は $1/4$ 、 $1/5$ 等）で、フォトリソが塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域46内に投影露光される。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、その光軸AXに垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

【0022】

まず、レチクルRはレチクルステージ2上に真空吸着によって保持され、レチクルステージ2はレチクルベース3上でエア・ベアリングを介して浮上した状態で、リニアモータによってY方向（走査方向）に連続移動すると共に、X方向、Y方向、及び回転方向にレチクルRの位置の微調整を行う。レチクルステージ2の側面に固定された移動鏡（実際には直交する2枚の移動鏡よりなる）4に外部のレーザ干渉計5から計測用のレーザビームが照射され、レーザ干渉計5の内部で生成される不図示の参照用のレーザビームと移動鏡4から反射されるレーザビームとの干渉光を、レーザ干渉計5内の光電検出器で受光することによって、レチクルステージ2（レチクルR）の2次元的な位置が計測されている。この計測結果がレチクルステージ制御系6に供給され、レチクルステージ制御系6は、装置全体の動作を統轄制御する主制御系7の制御のもとで、レチクルステージ2の位置や移動速度を制御する。

【0023】

一方、ウエハWは、ウエハホルダを兼用する試料台8上に真空吸着によって保持され、試料台8はZチルトステージ9上に固定され、Zチルトステージ9はXYθステージ10上に載置され、XYθステージ10は、定盤11上にエアベアリングを介して浮上した状態で、リニアモータによってX方向、Y方向（走査方向）、及び回転方向に試料台8（ウエハW）の移動及び位置決めを行う。Zチルトステージ9、XYθステージ10、及び定盤11よりウエハステージが構成されている。Zチルトステージ9は、ウエハWの投影光学系PLの光軸AX方向の位置（フォーカス位置）の制御及び傾斜角の制御（レベリング）を行う。

【0024】

そのため、投影光学系PLの側面に光学式で斜入射方式の多点の焦点位置検出系としてのオートフォーカスセンサ（以下、「AFセンサ」と呼ぶ）が配置され、このAFセンサによって、ウエハWの表面の露光領域内及びこれに対して走査方向に先行する先読み領域内の複数の検出点でのフォーカス位置が検出され、検出結果が合焦制御系45に供給されている。図1では、それらのAFセンサの内、露光領域内でのフォーカス位置を検出するAFセンサ44B、及び2方向の先読み領域内でのフォーカス位置を検出するAFセンサ44A、44Cが示されている。合焦制御系45は、主制御系7の制御のもとで、供給されたフォーカス位置の情報からウエハWの露光領域内の表面を投影光学系PLの像面に合焦させるための、Zチルトステージ9のフォーカス位置及び傾斜角の制御量をウエハWの位置に対応して算出し、この制御量に基づいてオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式でZチルトステージ9の動作を制御する。本例では、更にZチルトステージ9の走査方向に対するピッチング量の計測結果も合焦制御系45に供給され、合焦制御系45は、そのピッチング量の計測結果よりZチルトステージ9のフォーカス位置及び傾斜角の制御量を補正する。

【0025】

また、本例のウエハホルダを兼用する試料台8は、低膨張率の石英、又はガラスセラミックス等から形成され、試料台8の-X方向及び+Y方向の側面は鏡面加工されて、それぞれX軸用のミラー面8x及びY軸用のミラー面8yとなっている（図2参照）。ミラー面8x及び8yはそれぞれX軸及びY軸にほぼ垂直な

反射面であり、互いに直交している。ミラー面 8 x 及び 8 y はそれぞれ干渉計用の移動鏡として作用し、本例の試料台 8 は、2 軸の移動鏡を兼用しているとみなすことができる。更に、投影光学系 P L の -X 方向の側面下部にミラー面 8 x と実質的に平行な反射面を有する X 軸の参照鏡 14 X が固定され、その +Y 方向の側面下部にミラー面 8 y と実質的に平行な反射面を有する Y 軸の参照鏡 14 Y (図 2 参照) が固定されている。

【0026】

そして、図 1 において、X 軸の干渉計本体 12 X から射出されたレーザービームが分岐合成光学系 13 X によってそれぞれ X 軸に平行な計測用のレーザービーム (以下、「計測用ビーム」と呼ぶ) L X 1、及び参照用のレーザービーム (以下、「参照ビーム」と呼ぶ) L X 2 に分岐され、計測用ビーム L X 1 は試料台 8 の X 軸のミラー面 8 x に入射し、参照用ビーム L X 2 は X 軸の参照鏡 14 X に入射する。また、計測用ビーム L X 1 は分岐合成光学系 13 X とミラー面 8 x との間を 2 往復して干渉計本体 12 X に戻り、参照用ビーム L X 2 も分岐合成光学系 13 X と参照鏡 14 X との間を 2 往復して干渉計本体 12 X に戻る (詳細後述)。即ち、干渉計本体 12 X、分岐合成光学系 13 X、及び参照鏡 14 X より X 軸のダブルパス方式のレーザー干渉計が構成され、干渉計本体 12 X では、戻って来る計測用ビーム L X 1 及び参照用ビーム L X 2 の干渉光を光電変換して得た検出信号を補間及び積算処理することによって、参照鏡 14 X を基準としてミラー面 8 x の X 方向への変位を求め、得られた変位をウエハステージ制御系 43 に供給する。ウエハステージ制御系 43 では、その変位に所定のオフセットを加算して試料台 8 の X 座標を求める。

【0027】

この場合、計測用ビーム L X 1 及び参照用ビーム L X 2 としては、一例として波長 633 nm の He-Ne レーザビームをそれぞれ所定の周波数 Δf 及び $-\Delta f$ で周波数変調した光束が使用され、且つ両ビームは一例としてそれぞれ直線偏光で偏光方向が直交している。この方式にて両光束の分割、合成を行うことで、ヘテロダイン干渉方式で変位計測がなされる。また、本例はダブルパス方式であるため、計測用ビーム L X 1 の波長を λ とすると、電氣的な補間を行わないとき

には試料台 8 の変位を分解能 $\lambda/4$ で検出できる。これはシングルパス方式での分解能 ($\lambda/2$) の $1/2$ の分解能である。更に、本例では電氣的な補間処理を加えて最終的な分解能を例えば $\lambda/40$ ($\cong 10 \text{ nm}$) $\sim \lambda/400$ ($\cong 1 \text{ nm}$) 程度にしている。

【0028】

また、本例では、X軸のダブルパス方式のレーザ干渉計と共に、Y軸のダブルパス方式のレーザ干渉計も設けられている。

図 2 は、図 1 の投影露光装置のウエハ側のステージのレーザ干渉計システムを示す。但し、図 2 では分かり易くするため、一部の光学部材を省略し、且つ例えばプリズム型のビームスプリッタを平板状のビームスプリッタで表している。この図 2 において、Y軸の干渉計本体 12 Y から射出されたレーザビームが、分岐合成光学系 13 Y によってそれぞれ Y 軸に平行な計測用ビーム L Y 1、及び参照ビーム L Y 2 に分岐され、計測用ビーム L Y 1 は試料台 8 の Y 軸のミラー面 8 y に入射し、参照用ビーム L Y 2 は Y 軸の参照鏡 14 Y に入射する。また、計測用ビーム L Y 1 は分岐合成光学系 13 Y とミラー面 8 y との間を 2 往復して干渉計本体 12 Y に戻り、参照用ビーム L Y 2 も分岐合成光学系 13 Y と参照鏡 14 Y との間を 2 往復して干渉計本体 12 Y に戻る。干渉計本体 12 Y では、戻って来る計測用ビーム L Y 1 及び参照用ビーム L Y 2 の干渉光を光電変換して得た検出信号を補間及び積算処理することによって、参照鏡 14 Y を基準としてミラー面 8 y の Y 方向への変位を求め、得られた変位を図 1 のウエハステージ制御系 43 に供給する。ウエハステージ制御系 43 では、その変位に所定のオフセットを加算して試料台 8 の Y 座標を求める。

【0029】

また、図 2 に示すように、X軸の計測用ビーム L X 1 の光軸 (2 往復する際の中心線) は X 軸に平行で投影光学系 P L の光軸 A X を通る直線上にあり、Y 軸の計測用ビーム L Y 1 の光軸も Y 軸に平行で光軸 A X を通る直線上にある。従って、本例では投影光学系 P L の光軸 A X の位置、即ち実質的にスリット状の露光領域の中心 (露光中心) の位置がアッペ誤差の無い状態で高精度に計測できる。

【0030】

図1に戻り、ウェハステージ制御系43は、主制御系7の制御のもとで、干渉計本体12X、12Yを介して計測される試料台8のX座標、Y座標に基づいてXYθステージ10の移動速度や位置決め動作を制御する。露光時には、先ずXYθステージ10をステッピング駆動することによって、ウェハW上の次に露光されるショット領域を走査開始位置に設定する。その後、レチクルステージ2を介してレチクルRを+Y方向（又は-Y方向）に速度 V_R で走査するのと同期して、XYθステージ10を介してウェハWを-Y方向（又は+Y方向）に速度 $V_W (= \beta \cdot V_R)$ （ β は、投影光学系PLのレチクルRからウェハWへの投影倍率）で走査することによって、当該ショット領域にレチクルRのパターン像が走査露光される。

【0031】

また、不図示であるが、本例の投影露光装置にはレチクルRの位置、及びウェハWの位置を計測するためのアライメントセンサが備えられ、このアライメントセンサの計測結果に基づいて、レチクルRとウェハW上の各ショット領域との位置合わせが行われる。

さて、上述のように本例では、X方向及びY方向についてそれぞれ1軸のダブルパス方式のレーザ干渉計を用いて、試料台8（ウェハW）のX座標及びY座標が計測され、この計測結果に基づいて試料台8の位置決め、及び走査露光が行われている。しかしながら、例えばその走査露光時に、試料台8でZ軸に平行な軸の周りの回転（ヨーイング）があると、レチクルRとウェハWとの間で重ね合わせ誤差が生じることになる。

【0032】

また、本例では計測用ビームLX1、LY1の高さと、ウェハWの表面との間にZ方向の間隔があるため、試料台8にX軸に平行な軸の周りの回転（走査方向へのピッチング）、又はY軸に平行な軸の周りの回転（走査方向へのローリング）があると、アッペ誤差によってウェハWの実際の位置と、干渉計本体12X、12Yを介して計測される座標との間に位置ずれが生ずる。更に、XYθステージ10が移動する定盤11の表面、即ちXYθステージ10の走り面の傾斜角、特にX軸に平行な軸の周り（走査露光時のピッチング方向）の傾斜角が変化して

いると、走査露光時にウエハWのY方向の位置に応じてウエハWの表面のフォーカス位置が変化してしまう。そこで、本例では走査露光時に常時、試料台8のヨーイング量、ピッチング量、及びローリング量を計測するようにしている。

【0033】

以下では、試料台8のX軸、Y軸、及びZ軸に平行な軸の周りの回転角を計測するための機構につき詳細に説明する。本例では、変位計測用のダブルパス方式のレーザ干渉計の計測用ビームLX1、LY1を用いて回転角の計測も行うため、そのレーザ干渉計の構成を含めて図2～図6を参照して詳細に説明する。

図2において、X軸の干渉計本体12Xから射出されたレーザビームは、分岐合成光学系13Xにおいて偏光ビームスプリッタ17Xに入射し、偏光ビームスプリッタ17Xで反射されるS偏光の参照用ビームLX2と、その偏光ビームスプリッタ17Xを透過してX軸に平行に進むP偏光の計測用ビームLX1とに分岐される。後者の計測用ビームLX1はダブルパスユニット18Xに入射する。

【0034】

図3(a)は図2の分岐合成光学系13Xを+Y方向に見た正面図、図3(b)は図3(a)のダブルパスユニット18Xの平面図であり、図3(b)に示すように、ダブルパスユニット18Xは、偏光ビームスプリッタ26、この射出面に被着された1/4波長板27、及び偏光ビームスプリッタ26の側面に被着されたコーナキューブ28より構成されている。ダブルパスユニット18Xに入射した計測用ビームLX1は、一度偏光ビームスプリッタ26及び1/4波長板27を透過して、円偏光状態で試料台8のミラー面8xで反射される。反射された計測用ビームLX1は、1/4波長板27を経てS偏光となり偏光ビームスプリッタ26で反射された後、コーナキューブ28で反射されて再び偏光ビームスプリッタ26で反射され、1/4波長板27を経て円偏光状態で再びミラー面8xで反射される。反射された計測用ビームLX1は、1/4波長板27を介してP偏光となって偏光ビームスプリッタ26を透過して反射率の小さいビームスプリッタ19Xに入射する。

【0035】

図3(a)に示すように、ビームスプリッタ19Xで反射された計測用ビーム

LX1はステージ回転角検出系15Xに入射し、ビームスプリッタ19Xを透過した計測用ビームLX1は、傾斜角可変の平行平板ガラス20Xを経た後、偏光ビームスプリッタ17Xを透過して干渉計本体12Xに戻る。平行平板ガラス20Xは、駆動装置23Xによって直交する2軸の周りに所望の角度だけ傾斜できるように構成され、駆動装置23Xの動作は図1のウエハステージ制御系43によって制御されている。平行平板ガラス20Xの傾斜角は、計測用ビームLX1と参照用ビームLX2との重なり量が最大になるように制御される。

【0036】

図2に戻り、偏光ビームスプリッタ17Xで反射された参照用ビームLX2は、ミラー（実際には反射プリズム）21XでX軸に平行な方向に反射された後、不図示の偏光方向を90°回転するための1/2波長板を介してP偏光となってダブルパスユニット22Xに入射する。このダブルパスユニット22Xは、図3（b）のダブルパスユニット18Xと同じ構成であり、参照用ビームLX2はダブルパスユニット22Xと参照鏡14Xとの間を2往復した後、ダブルパスユニット22Xを通過する。分かり易くするため、図2では省略されているが、実際には図3（a）に示すように、ダブルパスユニット22Xの-X方向側の射出面には反射率の小さいビームスプリッタ24Xが配置され、ビームスプリッタ24Xで反射された参照用ビームLX2は参照回転角検出系16Xに入射し、ビームスプリッタ24Xを透過した参照用ビームLX2は、不図示の1/2波長板を経てS偏光となってミラー21Xで反射された後、偏光ビームスプリッタ17Xで反射されて干渉計本体12Xに戻る。

【0037】

この場合、図2において、試料台8が例えばZ軸に平行な軸（例えば光軸AX）の周りに角度（ヨーイング量） θ_Z だけ回転すると、ミラー面8xで最初に反射される計測用ビームLX1は、Y方向に傾斜して反射される。ところが、この傾斜角（振れ角）はダブルパスユニット18Xとの間を2往復することによって横シフト量に変換される。

【0038】

図4は、ダブルパスユニット18Xにおいて、ミラー面8xの回転角が計測用

ビーム L X 1 の横シフトを生ずることの説明図であり、この図 4 において、計測用ビーム L X 1 の光軸とダブルパスユニット 18 X 内の偏光ビームスプリッタ 26 の反射面との交点から、それぞれミラー面 8 x までの距離を L 1、コーナキューブ 28 の頂点までの距離を L 2 とする。距離 L 1 は試料台 8 の X 座標の関数であるため、以下では距離 L 1 を L 1 (X) とする。また、ミラー面 8 x が回転していない状態では、計測用ビーム L X 1 は実線の光路に沿ってダブルパスユニット 18 X とミラー面 8 x との間を 2 往復するものとして、ミラー面 8 x が Z 軸に平行な軸の周りに角度 θ (rad) だけ回転すると、1 回目に反射される計測用ビーム L X 1 の方向は、点線の光路 Q 3 で示すように角度 θ だけ傾斜する。ところが、コーナキューブ 28 では、入射光束と射出光束とが平行であるため、このように傾斜した計測用ビーム L X 1 は、ダブルパスユニット 18 X からミラー面 8 x に反射される際に同じ角度だけ傾斜している。従って、ミラー面 8 x から 2 回目に反射される計測用ビーム L X 1 の方向は、点線の光路 P 3 で示すように入射時と平行であり、且つミラー面 8 x が回転していない場合と比べて Y 方向に ΔY だけ横シフトしている。計測用ビーム L X 1 は、ダブルパスユニット 18 X とミラー面 8 x との間を 2 往復するため、横シフト量 ΔY は近似的に次のようになる。

【0039】

$$\Delta Y = 4 (L 1 (X) + L 2) \theta \quad (1)$$

同様に、ミラー面 8 x が Y 軸に平行な軸の周りに角度 (Y 方向へのローリング量) θ だけ回転している際にも、ダブルパスユニット 18 X とミラー面 8 x との間を 2 往復して戻される計測用ビーム L X 1 は、Z 方向に (1) 式と同じ量だけ横シフトする。

【0040】

図 2 に戻り、ミラー面 8 x にヨーイング量 θZ が発生して、ミラー面 8 x で反射される計測用ビーム L X 1 が光路 Q 3 で示すように Y 方向に傾斜すると、上述のように、ダブルパスユニット 18 X を通過した後、ビームスプリッタ 19 X で反射されてステージ回転角検出系 15 X に入射する計測用ビーム L X 1 の位置は、光路 P 3 で示すように Y 方向に横シフトする。同様に、ミラー面 8 x にローリ

ング量 θY が発生して、ミラー面 8 x で反射される計測用ビーム L X 1 が光路 Q 2 で示すように Z 方向に傾斜すると、ダブルパスユニット 18 X を通過してビームスプリッタ 19 X で反射されてステージ回転角検出系 15 X に入射する計測用ビーム L X 1 の位置は、光路 P 2 で示すように X 方向に横シフトする。

【0041】

但し、レーザ光源の揺らぎ等に起因して、干渉計本体 12 X から射出されるレーザビーム自体の横シフト及び傾きが発生しても、ステージ回転角検出系 15 X に入射する計測用ビーム L X 1 の位置が横シフトする。そこで、レーザビーム自体の横シフト及び傾きに起因する横シフトの補正を行うために、ステージ回転角検出系 15 X では、入射する計測用ビーム L X 1 の初期位置に対する X 方向への横シフト量 $\Delta X 1$ 、及び Y 方向への横シフト量 $\Delta Y 1$ の他に、その計測用ビーム L X 1 の初期の傾斜角（振れ角）に対する X 方向への傾斜角 $\Delta \phi X 1$ (rad、以下同様)、及び Y 方向への傾斜角 $\Delta \phi Y 1$ を計測し、計測結果を図 1 のウエハステージ制御系 43 に供給する。ステージ回転角検出系 15 X の構成については後述する。

【0042】

更に、図 2 において、ステージ回転角検出系 15 X によって計測される計測用ビーム L X 1 の見かけ上の横シフト量 $\Delta X 1$ 、 $\Delta Y 1$ から、レーザビーム自体の角度変化や横ずれに起因する横シフト量を分離するために、図 3 (a) に示すように、参照回転角検出系 16 X において参照用ビーム L X 2 の 2 次元的な横シフト量 $\Delta X 2$ 、 $\Delta Y 2$ 、及び 2 次元的な傾斜角 $\Delta \phi X 2$ 、 $\Delta \phi Y 2$ を計測し、計測結果を図 1 のウエハステージ制御系 43 に供給する。ウエハステージ制御系 43 では、一例として次のように、レーザビームの傾斜の影響を除去した後の参照用ビーム L X 2 の正確な横シフト量 ΔX_R 、 ΔY_R を求める。即ち、干渉計本体 12 X 内のレーザビームの射出点から参照回転角検出系 16 X 内での横シフト量の検出面までの距離を L_0 とすると、ほぼ次のようになる。

【0043】

$$\Delta X_R = \Delta X 2 - L_0 \cdot \Delta \phi X 2 \quad (2A)$$

$$\Delta Y_R = \Delta Y 2 - L_0 \cdot \Delta \phi Y 2 \quad (2B)$$

次に、ウエハステージ制御系 43 は、計測用ビーム L X 1 の見かけ上の横シフト量 ΔX_1 、 ΔY_1 から、参照用ビーム L X 2 の正確な横シフト量 ΔX_R 、 ΔY_R 、及び計測用ビーム L X 1 の傾きに起因する横シフト量を差し引いて、ミラー面 8 x の回転角のみに起因する横シフト量 ΔX_M 、 ΔY_M を求める。この際に、干渉計本体 12 X 内のレーザビームの射出点からステージ回転角検出系 15 X 内の横シフト量の検出面までの距離を、試料台 8 の X 座標の関数 $L(X)$ で表すと、計測用ビーム L X 1 の傾斜角 $\Delta \phi X_1$ 、 $\Delta \phi Y_1$ に起因する X 方向、Y 方向への横シフト量はそれぞれほぼ $L(X) \cdot \Delta \phi X_1$ 、及び $L(X) \cdot \Delta \phi Y_1$ となる。従って、ウエハステージ制御系 43 は、計測用ビーム L X 1 のミラー面 8 x の回転角のみに起因する横シフト量 ΔX_M 、 ΔY_M をそれぞれ次式より算出する。

【0044】

$$\Delta X_M = \Delta X_1 - \Delta X_R - L(X) \cdot \Delta \phi X_1 \quad (3A)$$

$$\Delta Y_M = \Delta Y_1 - \Delta Y_R - L(X) \cdot \Delta \phi Y_1 \quad (3B)$$

なお、ステージ回転角検出系 15 X で検出される計測用ビーム L X 1 の傾斜角 $\Delta \phi X_1$ 、 $\Delta \phi Y_1$ は、それぞれ原理上は参照回転角検出系 16 X で検出される参照用ビーム L X 2 の傾斜角 $\Delta \phi X_2$ 、 $\Delta \phi Y_2$ と等しいため、(3A) 式、(3B) 式における傾斜角 $\Delta \phi X_1$ 、 $\Delta \phi Y_1$ を傾斜角 $\Delta \phi X_2$ 、 $\Delta \phi Y_2$ で置き換えてもよい。この場合には、ステージ回転角検出系 15 X には、計測用ビーム L X 1 の振れ角を検出する機能を持たせる必要がない。また、両方に参照回転角検出系を設け、その検出結果の差を求めることでミラー面 8 x と 8 y との直交度変化を調べることができる。

【0045】

また、図 4 に示すように、計測用ビーム L X 1 の光軸からコーナキューブ 28 の頂点までの距離 L_2 は予め求めて記憶され、その光軸と偏光ビームスプリッタ 26 の反射面との交点からミラー面 8 x までの距離 L_1 は、干渉計本体 12 X で計測される試料台 8 の X 座標、及び所定のオフセットの和として求めることができる。これらより、ウエハステージ制御系 43 は、(1) 式の横シフト量 ΔY に (3A) 式の横シフト量 ΔX_M を代入することによって、ローリング量 θY を算

出すると共に、(1)式の横シフト量 ΔY に(3B)式の横シフト量 ΔY_M を代入することによって、ヨーイング量 θZ を算出する。

【0046】

また、図2に示すように、Y軸の分岐合成光学系13Yにおいても、X軸の分岐合成光学系13Xと対称に、干渉計本体12Yから射出されたレーザビームが偏光ビームスプリッタ17YでY軸に平行に進む計測用ビームLY1と、参照用ビームLY2とに分岐され、計測用ビームLY1は、ダブルパスユニット18Yと試料台8のY軸のミラー面8yとの間を2往復した後、ビームスプリッタ19Y、傾斜角可変の平行平板ガラス20Y及び偏光ビームスプリッタ17Yを経て干渉計本体12Yに戻る。また、ビームスプリッタ19Yで反射された計測用ビームLY1がY軸のステージ回転角検出系15Yに入射し、ここで横シフト量、及び傾斜角（振れ角）が検出される。一方、参照用ビームLY2は、ミラー21Yで反射されて、ダブルパスユニット22YとY軸の参照鏡14Yとの間を2往復した後、ミラー21Y及び偏光ビームスプリッタ17Yを経て干渉計本体12Yに戻る。この場合にも、不図示であるが、ダブルパスユニット22Yとミラー21Yとの間にビームスプリッタが配置され、このビームスプリッタで反射された参照用ビームLY2が図3(a)の参照回転角検出系16Xと同じ構成のY軸の参照回転角検出系に入射し、ここでも横シフト量及び傾斜角が検出される。

【0047】

このとき、図2において、試料台8がY方向へのピッチングを起こして、X軸に平行な軸の周りに角度（走査方向へのピッチング量） θX だけ回転すると、ミラー面8yで1回目に反射される計測用ビームLY1は、点線の光路Q5で示すようにZ方向に傾斜する。そして、ダブルパスユニット18Yを経てステージ回転角検出系15Yに入射する計測用ビームLY1の位置は、光路P5で示すようにY方向に横シフトする。この場合にも、レーザビーム自体の横シフト及び傾斜の影響を除いた計測用ビームLY1の横シフト量は、(1)式と同様に、ミラー面8yのY座標、及びピッチング量 θX を用いて表されるため、ウエハステージ制御系43はその横シフト量からピッチング量 θX を算出する。

【0048】

また、試料台 8 が Z 軸に平行な軸の周りに角度（ヨーイング量） θ_Z だけ回転した場合には、Y 軸のステージ回転角検出系 15 Y でも計測用ビーム L Y 1 が X 方向に横シフトを起こすため、Y 軸のステージ回転角検出系 15 Y で検出される計測用ビーム L Y 1 の X 方向への横シフト量に基づいて、ウエハステージ制御系 43 はそのヨーイング量 θ_Z を計算する。通常は、X 軸のステージ回転角検出系 15 X での計測用ビーム L X 1 の横シフト量に基づいて計算されるヨーイング量 θ_Z が使用されるが、例えば試料台 8 を Y 方向に移動することによって、X 軸のミラー面 8x の曲がり量を計測するような場合には、Y 軸のステージ回転角検出系 15 Y での計測用ビーム L Y 1 の横シフト量に基づいて計算されるヨーイング量 θ_Z が使用される。

【0049】

なお、X 軸の干渉計本体 12 X、及び Y 軸の干渉計本体 12 Y で、共通のレーザー光源からのレーザービームを使用するようにしてもよい。この場合には、2 つの干渉計本体 12 X、12 Y から射出されるレーザービーム自体の横シフト量、及び傾斜角は共通であるため、例えば Y 軸の分岐合成光学系 13 Y に参照用ビーム L Y 2 の横シフト量、及び傾斜角を検出するための参照回転角検出系を設ける必要はなく、光学系の構成が簡素化される。

【0050】

上述のように、本例ではステージ回転角検出系 15 X、15 Y 及び参照回転角検出系 16 X において、入射する光ビームの 2 次元的な横シフト量及び傾斜角が検出されている。光ビームの横シフト量を検出するための簡便な方法としては、例えば受光面が 4 個に分割された 4 分割受光素子、又は入射する光束の光量分布の 2 次元的な重心位置を検出できる光電検出器、又は CCD よりなる撮像素子等を用いる方法がある。同様に、光ビームの傾斜角を検出するためには、レンズ系の光学的フーリエ変換面（瞳面）において、そのような 4 分割受光素子、光電検出器、又は CCD よりなる撮像素子等を用いて光ビームの横シフト量を計測すればよい。但し、本例ではより高精度に光ビームの横シフト量、及び傾斜角を検出するため、以下のように 2 光束レーザー干渉方式を用いる。代表的に、X 軸のステージ回転角検出系 15 X の構成につき図 5 を参照して説明する。

【0051】

図5は、ステージ回転角検出系15Xの構成を示し、この図5において、入射した直線偏光の計測用ビームLX1は、ハーフミラー29Aによって2分割されて、一方の光束は第1の横シフト傾斜角検出系30Aに入射し、他方の光束は、第2の横シフト傾斜角検出系30Bに入射する。後者の横シフト傾斜角検出系30Bは、前者の横シフト傾斜角検出系30Aを90°回転したものである。横シフト傾斜角検出系30A内において、入射した光束は、1/4波長板31Aにより円偏光となり、ハーフミラー29Bにより2つの光束に分割される。

【0052】

ハーフミラー29Bを透過した光束（これも「計測用ビームLX1」と呼ぶ）は、複屈折プリズム40によってほぼ対称に広がるようにP偏光の第1光束b1、及びS偏光の第2光束b2に分割される。第1光束b1、及び第2光束b2は、1/4波長板31Bにて円偏光に戻された後、第1リレーレンズ41Aを経て互いに平行な光束となる。そして、第1光束b1は、音響光学素子33Bに入射して所定の周波数Fで周波数変調され、第2光束b2、及び周波数変調された第1光束b1は、第2リレーレンズ41Bを介して所定ピッチの回折格子35B上に、所定の交差角で集光される。周波数変調によって、回折格子35B上にはピッチ方向に流れる干渉縞が形成される。本例では、回折格子35Bのピッチはその干渉縞のピッチの2倍になるように設定してある。なお、ビート周波数を下げるために、第1光束b1及び第2光束b2を互いに駆動周波数が所定量だけ異なる音響光学素子で周波数変調してもよい。

【0053】

この結果、回折格子35Bによる第1光束b1の+1次回折光、及び第2光束b2の-1次回折光が、平行に干渉光b3として回折格子35Bから射出される。干渉光b3は、周波数Fで強度が変化するビート光であり、回折格子35Bからはそれ以外の0次光等も射出される。これらの回折光は、集光レンズ36Bを経て瞳フィルタ37Bに入射し、±1次回折光よりなる干渉光b3のみが瞳フィルタ37Bの開口を通過して光電検出器38Bで受光され、光電検出器38Bで干渉光b3を光電変換して得られる周波数Fのビート信号が信号処理系39に供

給される。信号処理系 39 内には音響光学素子 33B の駆動回路も組み込まれており、信号処理系 39 は、例えばその駆動回路の周波数 F の駆動信号と、光電検出器 38B から供給される周波数 F のビート信号との位相差 $REF1$ (rad) を求める。

【0054】

この場合、複屈折プリズム 40 内の計測用ビーム $LX1$ の入射位置と、回折格子 35B 上の 2 光束 $b1$, $b2$ の集光位置とは、リレーレンズ 41A, 41B に関して共役である。従って、図 6 (a) に示すように、複屈折プリズム 40 内の計測用ビーム $LX1$ の入射位置が実線の位置から点線で示す位置まで横ずれすると、回折格子 35B 上での 2 光束 $b1$, $b2$ の集光位置は位置 $B1$ から $B2$ に横ずれして、上述の位相差 $REF1$ が変化する。このとき、回折格子 35B のピッチを $P1$ とすると、所定の係数 $k1$ を用いて計測用ビーム $LX1$ の横シフト量 (これを $\Delta X1$ とする) は、次のように表すことができる。そこで、信号処理系 39 は、次式より求めた横シフト量 $\Delta X1$ をウェハステージ制御系 43 に供給する。

【0055】

$$\Delta X1 = k1 \cdot P1 \cdot REF1 / (2\pi) \quad (4)$$

また、図 5 において、ハーフミラー 29B にて反射された光束 (これも「計測用ビーム $LX1$ 」と呼ぶ) は、ハーフミラー 29C 及びミラー 32 により所定の間隔を持って平行に進む第 1 光束 $a1$ 、及び第 2 光束 $a2$ に分割される。そして、第 1 光束 $a1$ は $f\theta$ レンズ 34 に入射し、第 2 光束 $a2$ は音響光学素子 33A によって周波数 F の周波数変調を受けた後に $f\theta$ レンズ 34 に入射し、 $f\theta$ レンズ 34 を通過した 2 光束 $a1$, $a2$ は、所定ピッチの回折格子 35A 上に、所定の交差角で集光される。周波数変調によって、回折格子 35A 上にはピッチ方向に流れる干渉縞が形成され、回折格子 35A のピッチはその干渉縞のピッチの 2 倍になるように設定してある。

【0056】

この結果、回折格子 35A による第 1 光束 $a1$ の +1 次回折光、及び第 2 光束 $a2$ の -1 次回折光が、平行に干渉光 $a3$ として回折格子 35A から射出される

。干渉光 a 3 は周波数 F で強度が変化するビート光であり、回折格子 35 A から射出される種々の回折光は、集光レンズ 36 A を経て瞳フィルタ 37 A に入射し、±1 次回折光よりなる干渉光 a 3 のみが瞳フィルタ 37 A の開口を通過して光電検出器 38 A で受光され、光電検出器 38 A で干渉光 a 3 を光電変換して得られる周波数 F のビート信号が信号処理系 39 に供給される。信号処理系 39 内には音響光学素子 33 A の駆動回路も組み込まれており、信号処理系 39 は、一例としてその駆動回路の周波数 F の駆動信号と、光電検出器 38 A から供給される周波数 F のビート信号との位相差 REF 2 (rad) を求める。

【0057】

この場合、計測用ビーム LX 1 の入射位置であるハーフミラー 29 C の分割面に対して、f θ レンズ 34 によって回折格子 35 A の配置面はほぼ光学的フーリエ変換面（瞳面）となっており、ハーフミラー 29 C に入射する計測用ビーム LX 1 の傾斜角が、回折格子 35 A では横シフト量に変換される。従って、図 6 (b) に示すように、ハーフミラー 29 C に対する計測用ビーム LX 1 の傾斜角が実線の光路から点線で示す光路に変化すると、回折格子 35 A 上での 2 光束 a 1, a 2 の集光位置は位置 A 1 から A 2 に横ずれして、上述の位相差 REF 2 が変化する。回折格子 35 A のピッチを P 2 とすると、所定の係数 k 2 を用いて計測用ビーム LX 1 の傾斜角（これを ΔφX 1 とする）は、次のように表すことができる。そこで、信号処理系 39 は、次式より求めた傾斜角 ΔφX 1 をウエハステージ制御系 43 に供給する。

【0058】

$$\Delta \phi X 1 = k 2 \cdot P 2 \cdot \text{REF} 2 / (2 \pi) \quad (5)$$

また、ステージ回転角検出系 15 X 内で、ハーフミラー 29 A で分割された他方の光束は第 2 の横シフト傾斜角検出系 30 B に入射し、ここでは横シフト傾斜角検出系 30 A で検出される横シフト量及び傾斜角に直交する方向への計測用ビーム LX 1 の横シフト量 ΔY 1、及び傾斜角 ΔφY 1 が検出され、検出結果がウエハステージ制御系 43 に供給される。同様に、図 2 の Y 軸のステージ回転角検出系 15 Y、及び図 3 (a) の参照回転角検出系 16 X においても、2 光束干渉方式でそれぞれ入射する計測用ビーム、又は参照用ビームの横シフト量、及

び傾斜角（振れ角）が検出される。

【0059】

上述のように本例では、図2の干渉計本体12X、12Yから試料台8に照射される変位計測用の計測用ビームLX1、LY1を利用して、試料台8のヨーイング量 θZ 、ピッチング量 θX 、及びローリング量 θY が常時計測されている。この場合ウエハステージ制御系43では、走査露光時にそのヨーイング量 θZ を相殺するように、図1のウエハステージのXY θ ステージ10を介して試料台8を回転する。これによって、レチクルRとウエハWとの間に高い重ね合わせ精度が得られる。

【0060】

また、試料台8のピッチング量 θX 及びローリング量 θY が発生すると、図2において、ウエハWの表面と計測用ビームLX1、LY1とのZ方向の間隔を δZ として、X方向に $\delta Z \cdot \theta Y$ 、Y方向に $\delta Z \cdot \theta X$ のアッペ誤差が発生する。そこで、ウエハステージ制御系43は、それらのアッペ誤差を相殺するようにXY θ ステージ10を介してウエハWのX方向、Y方向の位置を補正する。これによって、ウエハWの高精度な位置決めが行われる。この場合、例えば図2に示すように、本例では1軸の計測用ビームLX1、LY1を利用して試料台8の傾斜角が計測されているため、試料台8のミラー面8xのY方向の幅、及びミラー面8yのX方向の幅の全部がほぼ移動ストロークとなっている。

【0061】

なお、本例ではダブルパス方式であるため、計測用ビームLX1、LY1はそれぞれ対応するミラー面との間を2往復しているが、この際の往復する計測用ビームの光路の間隔は、従来例のように2軸のシングルパスのレーザビームの間隔に比べればかなり狭く、計測用ビームLX1、LY1の広がりは無視できる程度である。従って、従来例と同等の移動ストロークを得ればよいのであれば、移動鏡、即ち本例では試料台8のミラー面8x、8yを小さくでき、ひいては試料台8を小型、軽量化できる。従って、試料台8の移動速度等の制御性を高めることができると共に、投影露光装置の設置面積（フットプリント）を小さくできる。

【0062】

また、従来は例えば移動鏡のZ方向の幅が狭く、Z方向に2軸の計測用ビームを照射して試料台のピッチング量、及びローリング量を計測する余地がないときには、図1のZチルトステージ9に相当するステージ内に傾斜角計測機構（デジタルマイクロメータ等）を設けて、間接的に試料台の傾斜角を計測し、この傾斜角に基づいてウエハWの位置を補正するようなことも行われていた。この方式では、ステージの機構が複雑化すると共に、傾斜角の計測結果の処理が煩雑であった。これに対して、本例では試料台8の傾斜角が直接計測されているため、ステージ機構を簡素化した上で、高精度にウエハWの位置制御を行うことができる。また、移動鏡としてのミラー面8x、8yの厚さが薄い場合でも、高精度にピッチング量やローリング量を計測できる。

【0063】

更に、露光動作と並行に、図1のAFセンサ44A、44B、44Cを介して検出されるウエハWのフォーカス位置の情報に基づいて、Zチルトステージ9を駆動することによって、オートフォーカス方式、及びオートレベリング方式でウエハWの表面が投影光学系PLの像面に合焦されている。この際に、Zチルトステージ9の動作は、主にAFセンサ44A、44B、44Cの計測結果のみに基づいて行うことができるため、より高精度、且つより高い追従速度で合焦を行うことができる。

【0064】

次に、図1のAFセンサ44A、及びAFセンサ44C等を用いた基本的な合焦動作、及びこれらのAFセンサの構成例につき説明する。

図8は、AFセンサ44A、44C等によるフォーカス位置の検出点の分布の一例を示し、この図8において、投影光学系PLによるスリット状の幅Dの露光領域46に対して走査方向（Y方向）の両側に間隔d1でAFセンサによる幅Δdの先読み領域81、82が設定され、先読み領域81及び82内にそれぞれ検出レンジはあまり広くないが高精度にフォーカス位置を検出するための5個の検出点81A～81E及び82A～82Eが設定されている。本例では先読み領域81及び82にはそれぞれ所定ピッチの干渉縞がウエハの表面に対して斜めに投影されており、各干渉縞を5個に分けた部分領域の中心を検出点81A～81E

及び 82A～82E とみなしている。

【0065】

また、先読み領域 81、82 に対して更に走査方向の手前側に間隔 d_2 で広い検出レンジで大まかにフォーカス位置を検出するためのラフな先読み領域が設定されている。そして、 $-Y$ 方向のラフな先読み領域に 2 つの検出点 84A、84B が設定され、 $+Y$ 方向のラフな先読み領域に 2 つの検出点 85A、85B が設定されている。露光領域 46 に対して $-Y$ 方向側の先読み領域内の高精度な検出点 81A～81E、及びラフな検出点 84A、84B でのフォーカス位置が図 1 の AF センサ 44A によって検出され、露光領域 46 に対して $+Y$ 方向側の先読み領域内の高精度な検出点 82A～82E、及びラフな検出点 85A、85B でのフォーカス位置が、図 1 の AF センサ 44A に対して対称に配置されている AF センサ 44C で検出される。

【0066】

また、図 8 の露光領域 46 の中心に 1 つの検出点 83 が設定され、検出点 83 でもあまり広くない検出レンジで高精度にフォーカス位置が検出されている。検出点 83 でのフォーカス位置は、図 1 の中央の AF センサ 44B によって検出されている。AF センサ 44B の方式は、後述のように干渉縞を投影する方式でもよいが、従来のように検出点にスリット像を投影して、その再結像される像の横ずれ量を検出する方式でもよい。

【0067】

このように各検出点で検出されるフォーカス位置の情報は、それぞれ図 1 の合焦制御系 45 に供給されている。また、このように検出されるフォーカス位置は、それぞれ投影光学系 PL の像面（ベストフォーカス位置）で 0 になるようにキャリブレーションが行われている。そのキャリブレーションは、例えば Z チルトステージ 9 を駆動して評価用のウエハのフォーカス位置を所定量ずつ変化させてテストプリントを行い、現像後に所定のパターンが得られたときのフォーカス位置を求めることで実行できる。

【0068】

そして、走査露光時に図 8 の露光領域 46 に対してウエハ W 上の露光対象のシ

ヨット領域が+Y方向に走査される場合には、合焦制御系45は、例えば走査開始からレチクルRとウエハWとの同期が取られるまでの助走区間でAFセンサ44Aによってラフな検出点84A、84Bで検出されるフォーカス位置が0（像面）になるようにZチルトステージ9を駆動する。この後は、ウエハWの表面のフォーカス位置は高精度な検出点81A～81Eでの検出レンジ内に確実に収まるため、合焦制御系45は、AFセンサ44Aによって検出点81A～81Eでフォーカス位置を連続的に検出し、このときに検出されたウエハW上の点が順次露光領域46に達したときにフォーカス位置が0になるように、連続的にZチルトステージ9のフォーカス位置、及び傾斜角を制御する。

【0069】

また、AFセンサ44Bによって露光領域46の中央の検出点83で検出されるフォーカス位置は、露光領域46の中央での実際のデフォーカス量を表しているため、検出点83で検出されるフォーカス位置が0（像面）になるように、Zチルトステージ9の最終的なZ方向への駆動量が設定される。これは、露光領域46内の検出点83でのフォーカス位置は追従制御に使用されることを意味する。そして、レチクルRとウエハWとが同期して移動している間は、オートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で連続的に先読み制御、及び追従制御による合焦が行われる。

【0070】

更に、走査露光時に図2の干渉計本体12Yによって試料台8のピッチング量 θX が検出される際には、XY θ ステージ10の走り面が走査方向に傾斜しているため、XY θ ステージ10が移動するだけでウエハWのフォーカス位置が変化してしまう。

図11（b）は、XY θ ステージ10の走り面87の傾斜角が変化する様子を拡大して示したものであり、これに対応して図11（a）に示すように、試料台8は走り面87に平行な走り面86に沿って移動する。この場合、試料台8がピッチング量 θX でY方向に距離 ΔY だけ移動すると、試料台8上のウエハWのフォーカス位置はほぼ次式で表される ΔZ だけ変化する。

【0071】

$$\Delta Z = \theta X \cdot \Delta Y \quad (6)$$

この状態で、図 8 の先読み領域 81 内の検出点 81A～81E が露光領域 46 の中心に達する際には、ほぼ $\theta X \cdot (d1 + D/2)$ だけフォーカス位置が変化することになる。そこで、図 1 の合焦制御系 45 にはウエハステージ制御系 43、及び主制御系 9 を介して干渉計本体 12Y で検出されるピッチング量 θX も供給されており、合焦制御系 45 は、先読み領域 81 内で検出されるフォーカス位置から予めそのピッチング量 θX に応じたフォーカス位置の変化量 $\theta X \cdot (d1 + D/2)$ を差し引いて得られるピッチング量が 0 になるように Z チルトステージ 9 を駆動する。これによって、XY θ ステージ 10 の走り面が走査方向に傾斜していても、高い追従速度で合焦を行うことができる。

【0072】

一方、走査露光時に図 8 の露光領域 46 に対してウエハ W 上の露光対象のショット領域が -Y 方向に走査される場合には、合焦制御系 45 は、先ず露光領域 46 に対して +Y 方向側のラフな検出点 85A、85B で検出されるフォーカス位置が 0（像面）になるように Z チルトステージ 9 を駆動する。その後は、露光領域 46 に対して +Y 方向側の先読み領域 82 内の高精度な検出点 82A～82E で検出されるフォーカス位置、干渉計本体 12Y で検出されるピッチング量 θX 、及び露光領域 46 の中心の検出点 83 で検出されるフォーカス位置に基づいて、先読み制御、及び追従制御を組み合わせながら合焦が連続的に行われる。

【0073】

このように、本例では露光領域 46 から走査方向に離れた先読み領域 81、82 内の複数の検出点でフォーカス位置を検出しているため、投影光学系 PL の作動距離が例えば数 mm 程度以下と短い場合でも、フォーカス位置検出用の光束の投影光学系 PL によるケラレを防止できる。また、露光領域 46 の中央にも追従制御用の検出点 83 が設定されているが、中央の 1 箇所のみでフォーカス位置を計測すればよいから、投影光学系 PL の作動距離が短くとも差し支えない。

【0074】

次に、先読み領域 81 内の高精度な検出点、及びその手前のラフな検出点 84A、84B でフォーカス位置の検出を行う AF センサ 44A の構成例につき説明

する。

図7は、そのAFセンサ44Aの中で先読み領域81において比較的狭い検出レンジで高精度にフォーカス位置を検出する高精度なセンサ部を示し、この図7において、照明光源51からは例えば互いに異なる複数波長のレーザビームを混合させた可干渉な検出光LAが射出している。検出光LAの波長域はウエハW上のフォトレジストに対する感光性の弱い波長域であり、検出光LAとしては、半導体レーザ、He-Neレーザ、He-Cdレーザ等が使用できる。このように2波長以上の多波長の検出光を用いることにより、被検面がフォトレジストのような薄膜で覆われている場合にも薄膜干渉による悪影響を低減できる。検出光LAはヘテロダインビーム生成光学系52に入射する。

【0075】

ヘテロダインビーム生成光学系52は複数の音響光学素子を備え、これらの音響光学素子を不図示の駆動系から供給される駆動信号で駆動することによって、入射する検出光から互いに所定の周波数差 Δf （ Δf は例えば数10kHz程度）を有する可干渉な2光束LA1, LA2を生成する。更に、その駆動系は、2つの音響光学素子に対する駆動信号を例えばミクシングすることによって周波数 Δf の基準ビート信号を生成し、この基準ビート信号を合焦制御系45に供給している。そのように生成された2光束LA1, LA2は、所定の交差角でヘテロダインビーム生成光学系52から射出された後、集光系53によって一度光学的にフーリエ変換され、ミラー54で反射された後、送光対物系55を経て、被検面であるウエハWの表面の先読み領域81で交差し、先読み領域81に流れる干渉縞が形成される。2光束LA1, LA2の光軸の被検面に対する入射角 θ は、ほぼ 90° に近い大きい角度である。先読み領域81内に形成される干渉縞のピッチ方向は、既に形成されている回路パターンの影響を軽減するために、一例としてX軸、及びY軸に対してほぼ 45° で交差する方向に設定されている。

【0076】

本例では、先読み領域81内でX方向に一系列に配列された5個の計測領域でそれぞれ独立にフォーカス位置を検出する。これらの5個の計測領域の中心が図8の検出点81A～81Eとなっている。

被検面としてのウェハWの表面で反射された2光束LA1, LA2は、検出対物系56を通り光路折り曲げ用のミラー57で反射された後、結像系58を経て受光ビーム合成用の回折格子59に入射する(図9(b)参照)。ウェハWの表面が投影光学系PLの像面に合焦している状態で、検出対物系56及び結像系58に関してその表面と回折格子59とは共役関係(アオリの結像関係)にある。そして、回折格子59による光束LA1の+1次回折光LA1(+1)、及び光束LA2の-1次回折光LA2(-1)は平行に合成されて集光用レンズ61Aを通り、空間フィルタ60を通過してレンズ61Bによって平行光束になる。空間フィルタ60には、光軸上に1つの開口が形成されており、この開口を±1次回折光LA1(+1), LA2(-1)が通過し、それ以外の回折光(0次光を含む)は遮断される。

【0077】

図7に示すように、レンズ61Bから射出される回折光LA1(+1), LA2(-1)よりなるヘテロダイン干渉光は、集光レンズ62A~62Eに入射する。集光レンズ62A~62EはそれぞれウェハW上の先読み領域81内の検出点81A~81E(図8参照)を中心とする5個の計測領域に対応して配置されている。そして、回折光LA1(+1), LA2(-1)よりなる干渉光の中で、集光レンズ62A~62Eで集光された干渉光は、それぞれ光ファイバ63A~63Eを介して受光信号生成部64内の光電検出器に入射する。これらの光電検出器からそれぞれ周波数 Δf の検出ビート信号が出力され、これらも合焦制御系45に供給される。

【0078】

合焦制御系45では、ヘテロダインビーム生成光学系52用の不図示の駆動系から出力される基準ビート信号を基準として、それぞれ光ファイバ63A~63Eを介して得られる干渉光に対応する5個の検出ビート信号の位相差 $\phi A \sim \phi E$ を検出する。この際に、予め図8の先読み領域81が投影光学系PLの像面に実質的に合致している状態で(例えばXY θ ステージ10が所定の基準位置にあるときに露光領域46内でウェハの表面を像面に合わせた後、XY θ ステージ10を駆動してそのウェハWの表面を先読み領域81に移動した状態で)、それらの

検出ビート信号の位相差 $\phi A \sim \phi E$ の値（基準値） $\phi A1 \sim \phi E1$ が求められて、合焦制御系 45 内の記憶部に記憶されている。そして、走査露光時に合焦制御系 45 は、それらの検出ビート信号の位相差 $\phi A \sim \phi E$ の基準値 $\phi A1 \sim \phi E1$ からの偏差 $\Delta \phi A \sim \Delta \phi E$ を求める。偏差 $\Delta \phi A \sim \Delta \phi E$ を代表的に $\Delta \phi$ として、先読み領域 81 に投影される干渉縞のピッチを $P1$ 、図 7 の 2 光束 $LA1$ 、 $LA2$ の光軸のウエハ W の表面に対する入射角を Θ とすると、合焦制御系 45 は、次式より当該検出点でのフォーカス位置 Z_{p1} を算出する。

【0079】

$$Z_{p1} = \{1 / (2 \cdot \sin \Theta)\} \cdot P \cdot \Delta \phi / (2 \pi) \quad (7)$$

この場合の検出レンジ $ZR1$ は、 $\{1 / (2 \cdot \sin \Theta)\} \cdot P$ であり、ピッチ $P1$ を例えば $20 \mu m$ とすると、検出レンジ $ZR1$ はほぼ $10 \mu m$ となり、 $\{\Delta \phi / (2 \pi)\}$ を 10^{-3} 程度の分解能で検出することによって、フォーカス位置 Z_{p1} の解像度はほぼ $0.01 \mu m$ となる。従って、その検出レンジ $ZR1$ 内で極めて高精度に各検出点 $81A \sim 81E$ でのフォーカス位置を検出することができる。

【0080】

この場合、例えばウエハ W の周辺部のようにウエハ W のフォーカス位置が比較的大きく変化するような領域でも、各検出点 $81A \sim 81E$ のフォーカス位置を予めその検出レンジ $ZR1$ 内に引き込んでおくために、AF センサ 44A には広い検出レンジのセンサ部が設けられている。

図 9 (a) は、その AF センサ 44A 内の広い検出レンジのセンサ部を示し、この図 9 (a) において、露光光 IL とは異なりウエハ W 上のフォトリジストを感光させない波長域の照明光 LR が、図示省略された照明光源から光ファイバ束 65 を介して導かれている。光ファイバ束 65 から射出された照明光 LR は、集光レンズ 66 を経て 2 個のスリット状の開口を有するパターン形成板 67 を照明する。パターン形成板 67 の開口を透過した照明光 LR は、レンズ 68、ミラー 69 及び照明対物レンズ 70 を経てウエハ W の表面に投影光学系 PL の光軸に対して斜めに投影され、ウエハ W の表面の検出点 $84A$ 、 $84B$ にパターン形成板 67 の開口の像であるスリット像が結像投影される。

【0081】

ウエハW上の検出点84A及び84Bで反射された照明光LRは、集光対物レンズ71、回転方向に傾斜できる傾斜板72A及び結像レンズ73を経て、それぞれ受光系74上の光電センサ75A及び75B上にスリット像を再結像する。

図9(b)に示すように、受光系74上に検出点84A及び84Bからの反射光によってそれぞれスリット像84AP及び84BPが形成され、図9(a)においてウエハWのフォーカス位置が変化すると、図9(b)において、スリット像84AP、84BPの結像位置が横方向に変位する。そして、一方のスリット像84APを受光する光電センサ75Aは、そのスリット像の変位方向に2つのフォトダイオード等の光電検出器76A、77Aに分かれ、他方のスリット像84BPを受光する光電センサ75Bも、そのスリット像の変位方向に2つの光電検出器76B、77Bに分かれている。

【0082】

また、合焦制御系45内で光電検出器76A、77Aの光電変換信号の差分 ΔSA が求められ、同様に光電検出器76B、77Bの光電変換信号の差分 ΔSB も求められる。そして、予め検出点84A、84Bが実質的に投影光学系PLの像面に合致している状態で、それらの差分 ΔSA 、 ΔSB がそれぞれ0になるように合焦制御系45、及び駆動部72Bを介して傾斜板72Aの傾斜角が設定されている。この結果、合焦制御系45は、差分 ΔSA よりスリット像84APが光電検出器76A、77Aのどちらにあるか、即ち検出点84Aのフォーカス位置が像面に対して上下のどちらにずれているかを識別できると共に、差分 ΔSB より検出点84Bのフォーカス位置が像面に対して上下のどちらにずれているかを識別できる。この際のフォーカス位置の検出レンジ（上下のどちらにずれているかを判別できる範囲）は、例えば $\pm 1\text{ mm}$ 程度である。

【0083】

更に、スリット像84AP及び84BPがそれぞれ光電検出器76A、77Aの境界部、及び光電検出器76B、77Bの境界部にかかっている範囲では、差分 ΔSA 及び ΔSB はそれぞれ検出点84A及び84Bのフォーカス位置に応じて、0（像面）を中心としてほぼ線形に変化する。このように差分 ΔSA 、 ΔS

Bが線形に変化するフォーカス位置の範囲は例えば数10 μ mである。この結果、合焦制御系45が、差分 ΔSA 及び ΔSB をそれぞれ0にするようにZチルトステージ9を駆動することによって、ウェハWの表面の検出点84A、84Bの近傍でのフォーカス位置は、AFセンサ44A中の図7に示す高精度なセンサ部の検出レンジ内に確実に追いつくことができる。

【0084】

なお、本例では、先読み領域のフォーカス位置の高精度な検出点、及びラフな検出点は図8のように設定されているが、それ以外に例えば図10に示すように設定してもよい。即ち、図10(a)においては、露光領域46に対して走査方向(±Y方向)の手前側にそれぞれ3個の高精度な検出点81A~81C、及び82A~82Cが設定され、これらの高精度な検出点に対してそれぞれ更に走査方向の手前側に広い検出レンジのラフな検出点84A、84B及び85A、85Bが設定されている。また、図10(b)においては、露光領域46に対して走査方向(±Y方向)の手前側にそれぞれ9個の高精度な検出点81A~81I、及び82A~82Iが設定され、これらの高精度な検出点に対してそれぞれ更に走査方向の手前側に広い検出レンジのラフな検出点84A、84B及び85A、85Bが設定されている。また、広い検出レンジのラフな検出点は走査方向別に1つにしてもよいが、本例のように2つの検出点84A、84B及び85A、85Bを設けることによって、フォーカス位置のみならず傾斜角も大まかに設定することができる。

【0085】

また、図7の高精度なセンサ部としては、従来から使用されているように、複数の検出点にそれぞれスリット像を斜めに投影し、反射光より再結像される各スリット像の位置を光電顕微鏡方式で検出する斜入射方式の多点のAFセンサを使用してもよい。また、図9の広い検出レンジのセンサ部としては、例えば空気マイクロメータ、又は静電容量型のギャップセンサのような非接触方式の機械的なセンサを使用してもよい。

【0086】

次に、上記の実施の形態では、図1のXY θ ステージ10の走り面の傾斜角に

応じてフォーカス位置の補正量を調整しているが、その走り面の傾斜角の分布は $XY\theta$ ステージ 10（試料台 8）の座標（ X ， Y ）の関数であり、一度計測しておけば再現性のある情報である。そこで、以下では予めその走り面の傾斜角の分布を実質的に計測しておく方法の一例につき図 12、及び図 13 を参照して説明する。

【0087】

そのためには、通常の露光時の図 12（a）に示すように、試料台 8 上の凹部に例えば吸着保持されたウエハホルダ 88 上に真空吸着によって露光対象のウエハ W が保持された状態で、図 12（b）に示すように、試料台 8 からウエハホルダ 88 を取り外す。その後、図 12（c）に示すように、試料台 8 上のウエハホルダ 88 が載置されていた凹部に、平行度が極めて良好で表面の平面度（フラットネス）が極めて高いと共に、通常のウエハに比べてかなり厚い評価用のウエハ（以下、「スーパーフラット厚ウエハ」と呼ぶ）89 を載置する。スーパーフラット厚ウエハ 89 の厚さは、試料台 8 上に載置した状態でその表面 89a が露光時のウエハ W の表面と同じ高さになる厚さであり、その底面の 3 箇所には先端が球面状の凸部 90A～90C が埋め込まれている。

【0088】

このように試料台 8 上にスーパーフラット厚ウエハ 89 を載置してから、図 1 の $XY\theta$ ステージ 10 を所定の基準位置に移動して、AF センサ 44A 等を用いて図 8 の各検出点でスーパーフラット厚ウエハ 89 上のフォーカス位置を検出し、この検出結果に基づいて Z チルトステージ 9 を駆動して、スーパーフラット厚ウエハ 89 の露光領域 46 の近傍の表面を像面に合わせ込んだ状態で Z チルトステージ 9 の動作をロックする。その後、 $XY\theta$ ステージ 10 を X 方向、Y 方向に順次所定ステップ量ずつ移動しながら、それぞれ AF センサ 44A，44C 等を介して図 8 の各検出点にてフォーカス位置（ここでは像面からのデフォーカス量）を検出し、検出結果を $XY\theta$ ステージ 10（試料台 8）の座標（ X ， Y ）に対応させたマップとして合焦制御系 45 内の記憶部に記憶させておく。このマップは、 $XY\theta$ ステージ 10 の走り面のフォーカス位置の変化量の分布を表すものであり、例えば隣接する計測点のフォーカス位置の差分を、それらの計測点の間隔

で除算することにより傾斜角が算出される。

【0089】

その後、再び図12(a)に示すように、試料台8上にウエハホルダ88及びウエハWを載置して露光を行う際には、AFセンサ44A等によって図8の先読み領域81、82で検出されるフォーカス位置に基づいて設定されるZチルトステージ9の駆動量を、その記憶してあるマップの対応する座標位置でのフォーカス位置で補正するようにする。これによって、XY θ ステージ10の走り面の傾斜角が変化している場合でも高い追従速度で合焦を行うことができる。

【0090】

更に、上記のように試料台8上にスーパーフラット厚ウエハ89を載置して、XY θ ステージ10を所定量ずつ移動してそれぞれ各検出点でフォーカス位置を検出する際に、図2の干渉計本体12X、12Yを介して試料台8のピッチング量 θ X、及びローリング量 θ Yを計測する。これらの計測値から、フォーカス位置の検出結果より求められる試料台8のピッチング量 θ X、及びローリング量 θ Yを差し引くことによって、試料台8のミラー面8x、8yのねじれによるピッチング量の変動値 $\Delta\theta$ X、及びローリング量の変動値 $\Delta\theta$ Yがマップ（ねじれ誤差のマップ）として求められる。そこで、露光時には、図2の干渉計本体12X、12Yを介して検出される試料台8のピッチング量 θ X及びローリング量 θ Yを、その記憶してあるピッチング量の変動値 $\Delta\theta$ X、及びローリング量の変動値 $\Delta\theta$ Yで補正することによって、試料台8のミラー面8x、8yのねじれによる誤差（レベリング制御誤差）の影響を解消することができる。また、試料台8のミラー面8x、8yのねじれ角は、前述のウエハWの表面と計測用ビームLX1、LY1とのZ方向の間隔より発生するアッペ誤差の補正にも影響を与えるので、このねじれ角を常時補正するようにX、Y方向の位置を補正する必要がある。

【0091】

また、図13(b)に示すように、スーパーフラット厚ウエハ89は、底面の3個の凸部90A～90Cによる3点支持となっており、試料台8上でウエハホルダ88を外した接触部の形状や歪みに依存せずに、表面89aの平面度を高く保つことができる。即ち、スーパーフラット厚ウエハ89は、その3点支持を行

った際に表面 89a の平面度が良好となるように設計、及び製造が行われている。これによって、同じスーパーフラット厚ウエハ 89 を複数台の露光装置で共通に使用することができ、スーパーフラット厚ウエハ 89 の表面は各露光装置においてそれぞれ絶対基準となる平面とみなすことができる。但し、計測の際は上記スーパーフラット厚ウエハ 89 は平面度を良好に維持するために、真空吸着等では固定していないので、所定の許容加速度以下の加速度でステージを駆動する必要がある。以上のような方法を用いることで、高精度の完全先読み制御による合焦が可能となる。

【0092】

更に、図 13 (a) に示すように、スーパーフラット厚ウエハ 89 の表面にはほぼ Y 方向に沿った直線上に所定間隔で基準マーク 91A~91C が形成され、その直線に直交する直線上に所定間隔で基準マーク 91A, 91D, 91E が形成されている。これらの基準マークを例えばアライメント用のセンサで順次検出しながら、図 1 の XYθ ステージ 10 を駆動して干渉計本体 12X, 12Y で試料台 8 の座標 (X, Y) を検出することによって、XYθ ステージ 10 の Y 方向への走り方向の真直度のずれを計測できるため、その後はこのずれを補正するように XYθ ステージ 10 を駆動するようにする。更に、その検出結果より試料台 8 のミラー面 8x, 8y の直交度等を高精度に計測できる。

【0093】

次に、図 8 の先読み領域 81, 82 の露光領域 46 に対する間隔 d1、及び検出点 81A~81E, 82A~82E の個数等を最適化する方法の一例につき説明する。ここでは主に、図 1 の AF センサ 44A, 44B、合焦制御系 45、及び Z チルトステージ 9 よりなるフォーカス位置及び傾斜角の制御系（以下、「合焦系」と呼ぶ）が、図 8 に示すように、露光領域 46 に対して走査方向（+Y 方向とする）に手前側の先読み領域（先読み領域 81 及び検出点 84A, 84B）内のみで検出されるフォーカス位置に基づいた制御（以下、「完全先読み制御」と呼ぶ）方式で、露光領域 46 内で許容範囲を超えるデフォーカス量が発生しないように走査露光を行うための条件を決定するものとする。なお、露光領域 46 の中央の検出点 83 でのフォーカス位置に基づいて追従制御を行う場合も、完全

先読み制御に含めている。

【0094】

まず、上記の完全先読み制御との比較のために、図8の露光領域46の中心にもX方向に配列された複数のフォーカス位置の検出点を設け、これらの検出点と先読み領域81内の複数の検出点とでフォーカス位置の検出を行う方式（以下、「部分先読み制御」と呼ぶ）について検討する。

図14は、部分先読み制御方式でオートフォーカスを行いながら走査露光を行う場合の特性を示し、この図14において、横軸は露光対象のウエハの表面の凹凸の走査方向（Y方向）への波長（ピッチ）であり、縦軸は露光領域46の中心での像面に対するフォーカス位置の誤差（デフォーカス量）、及び位相回転（°）である。フォーカス位置の誤差は、ウエハ上の周期的な凹凸の波長が2mmのときのデフォーカス量の振幅を1としたときのデフォーカス量の振幅（規格値）を表し、位相回転は、ウエハ上の周期的な凹凸の位相に対してウエハのフォーカス位置を制御する際の位相の遅れを表している。

【0095】

また、図14の例では、ウエハの走査速度を85mm/s、ウエハが静止している状態でのZチルトステージ9のZ方向への駆動部の周波数応答を25Hzとしており、曲線101、102、及び103はそれぞれ先読み制御を行わない場合のフォーカス位置の誤差、位相回転、及び部分先読み制御を行う場合のフォーカス位置の誤差を表している。図14より、波長が短い方が位相回転誤差が大きくなるが、どの波長のうねりに対しても、図8の露光領域46に対する先読み領域81の間隔d1を約2mmとすれば、この位相遅れによる誤差の補正ができる。図14の例では、先読み領域81が露光領域46の4mm手前に設置されている。

【0096】

これに対して、オートレベリング制御を行うためには、例えば先読み領域81内の検出点81A～81Eでの検出結果と露光領域46の中央の検出点での検出結果との差分を最小二乗近似することによって、2次元的な傾きが求められる。また、先読み領域81の走査方向の幅 Δd は、一例として $2^{1/2}$ mmであり、ウ

エハ周辺の例えば幅 3 mm 程度の禁止帯等も考慮すると、ウエハ周辺では合焦制御ができなくなる可能性もある。

【0097】

次に、上記の実施の形態のように、図 8 において、露光領域 46 内では中央の 1 点を除いてフォーカス位置の検出を行うことなく、先読み領域 81（又は検出点 84A、84B も含む）のみでフォーカス位置の検出を行って完全先読み制御を行う場合について検討する。まず、ウエハの走査速度を $100 \sim 250 \text{ mm/s}$ 、レチクルとウエハとがそれぞれ走査速度に達してから両者の同期が取られるまでの整定時間を 36 ms 、露光領域 46 の走査方向の幅（スリット幅）を 8 mm 、ショット領域の大きさを 25 mm （X 方向） $\times 33 \text{ mm}$ （Y 方向）として、ウエハ上の 1 つのショット領域に対して加速、整定、露光、減速の露光シーケンスに従って走査露光を行う場合の経過時間（以下、「処理時間」と呼ぶ）を種々の条件で求める。

【0098】

図 15 は、その条件のもとで XYθ ステージ 10 の加速度を切り換えた場合の処理時間を示し、この図 15 において、横軸は加速度 (mm/s^2)、縦軸は処理時間 (ms) である。また、曲線 104A、104B、104C、及び 104D はそれぞれウエハの走査速度を 100 mm/s 、 150 mm/s 、 200 mm/s 、及び 250 mm/s とした場合の処理時間を表している。この結果のデータ 105 より、XYθ ステージ 10 の加速度を 2500 mm/s^2 以上に高めることができないならば、走査速度を 200 mm/s とすることで処理時間が最も短縮され、最もスループットを高めることができることが確認できる。

【0099】

そこで、以下では、XYθ ステージ 10（ウエハ）の走査速度を 200 mm/s 、加速度を 2500 mm/s^2 とした場合に、合焦系の応答性に応じた位相回転誤差を完全に取り除くための先読み領域 81 の位置を求める。

図 16 は、その合焦系の応答周波数を切り換えた場合の、位相回転誤差を実質的に完全に取り除ける先読み領域 81 の位置の計算結果を示し、この図 16 において、横軸は応答周波数 (Hz)、縦軸は図 8 の露光領域 46 に対する先読み領

域 81 の間隔 d_1 (mm) の最短値、即ち先読み AF 位置の最短値を表している。そして、曲線 106A は、先読み領域 81 の幅を考慮しないときの計算値、曲線 106B は、先読み領域 81 の幅 Δd をマージンを含めて 2 mm にしたときの計算値である。即ち、図 16 の先読み AF 位置は、図 8 の先読み領域 81 にてフォーカス位置を検出した後、位相回転誤差を発生させないために必要な最短の間隔であり、位相回転誤差をそのように補正できれば、図 17 に示すように、合焦系にて Z チルトステージ 9 を駆動する際のゲインを上げることによって、露光領域 46 内でのフォーカス位置を像面に完全に追従させることができる。

【0100】

即ち、先読み制御を行わないときには、図 17 (a) に示すように、ウエハの表面が走査方向 (Y 方向) に周期的にうねって、その表面に対して相対的に曲線 CF で示すように像面が変動すると、曲線 C1 で示すようにウエハの表面は像面の変動に遅れて変位する。これに対して、先読み制御を行って、かつ位相回転誤差が発生しないときには、図 17 (b) に示すように、像面 (曲線 CF) の変動に追従してウエハの表面 (曲線 C2) が変位する。更に、デフォーカス量に対するゲインを上げると、図 17 (c) に示すように、像面 (曲線 CF) の変動にほぼ完全に追従してウエハの表面 (曲線 C3) が変位する。

【0101】

以上の結果は露光領域 46 内の或る一つの点に対する合焦制御であるが、実際の走査露光ではスリット状の露光領域 46 内の平均的な面を像面に合わせ込む必要がある。この際に、ウエハの表面が特定のうねりを持っている場合には、図 17 (c) のような完全補正を行っても、露光領域 46 内の何れかの点でデフォーカスが発生する恐れがある。

【0102】

そこで、上記の実施の形態の完全先読み制御では、図 8 の先読み領域 81 内の一列の検出点 81A ~ 81E で検出されるフォーカス位置より非走査方向 (X 方向) の傾斜角を逐次検出し、走査方向には各検出点 81A ~ 81E で所定のサンプリング周期で検出されるフォーカス位置の変化より傾斜角を検出している。この検出結果に基づいて、位相回転誤差の相殺、及びゲイン調整を行うことによっ

て、露光領域 46 内で予測されるデフォーカス量が補正されるが、先読み領域 81 による傾斜角の検出方法に応じて、残留するデフォーカス量（残留誤差）が図 19、又は図 20 に示すように変化する。その残留誤差についての簡単な説明を図 18 を参照して行う。

【0103】

図 18 (a) ~ (c) は、ウエハの表面の走査方向 (Y 方向) へのうねりによって、その表面（補正を行わない場合）に対して相対的に曲線 CF で示すように像面が変動する場合を示している。この場合、その表面のうねりの波長に対して図 8 の露光領域 46 のスリット幅 D を $1/2$ に設定し、完全先読み制御方式でオートフォーカス、及びオートレベリングを行いながら、像面中の特定の点 CFP にて露光を行うものとする。また、ウエハが静止しており、露光領域 46 が相対的に Y 方向に移動するものとしている。

【0104】

まず、図 18 (a) において、点 CFP が露光領域 46 にかかった時点でのデフォーカス量 L_1 は、例えば $+\Delta$ である。その後、図 18 (b) において、点 CFP が露光領域 46 の中央に達すると、オートフォーカス、及びオートレベリング制御によって、ウエハの表面は像面（曲線 CF）に合致し、デフォーカス量 L_n は 0 となる。その後、図 18 (c) において、点 CFP が露光領域 46 から外れる直前でのデフォーカス量 L_N は、 $-\Delta$ となる。そのため、点 CFP によって露光されるウエハ上の一点でのデフォーカス量 ΔZ_y は、次のように走査方向 (Y 方向) の各位置でのデフォーカス量 $L(Y)$ を積分して、積分値を平均化したものとなる。

【0105】

$$\Delta Z_y = \int L(Y) dY / D \quad (8)$$

(8) 式の積分は、点 CFP が露光領域 46 内を通過している区間で実行される。また、図 18 の曲線 CF で表される像面に対する補正前のデフォーカス量の平均値を Z_y とすると、図 18 の例では Z_y はほぼ 0 となる。そして、(8) 式のデフォーカス量 ΔZ_y には実際には多重露光と同等の効果が得られるため、ウエハ上の各点での走査露光後の総合的なデフォーカス量 F_y のシミュレーション

上での値はほぼ次のようになる。

【0106】

$$F_y = Z_y + \Delta Z_y / 3 \quad (9)$$

同様に、非走査方向に配列された多点の検出点でのデフォーカス量の平均値を Z_x とすると、走査方向、及び非走査方向のデフォーカス量を考慮した総合的なデフォーカス量 F_t のシミュレーション上の値はほぼ次のようになる。

$$F_t = Z_x + \Delta Z_y / 3 \quad (10)$$

そこで、図 19 は、完全先読み制御を行うと共に、オートフォーカス制御（以下、「AF 制御」と呼ぶ）については得られるフォーカス位置の平均値を像面に近付ける補正（平均値補正）を行い、オートレベリング制御（以下、「AL 制御」と呼ぶ）については得られるフォーカス位置を最小二乗近似して 2 次元的な傾斜角を算出し、これらの傾斜角を像面に合わせ込む補正（最小二乗近似補正）を行うという条件下で、ウエハの表面に各波長のうねりがある場合の露光領域 46 でのデフォーカス量の残留誤差を計算結果を示している。図 19 の横軸はウエハの表面のうねりの走査方向の波長（ピッチ）（mm）、縦軸は各波長のうねりの振幅が 1 となるように規格化したデフォーカス量の残留誤差である。

【0107】

また、露光領域 46 のスリット幅 D を 8 mm として、曲線 107A は、走査方向に対して AF 制御のみを行い、各波長のうねりに対して (9) 式のデフォーカス量の最悪値を求めたもの、曲線 107B は、走査方向に対して AF 制御、及び AL 制御を行い、各波長のうねりに対して (9) 式のデフォーカス量の最悪値を求めたものである。そして、曲線 107C は、非走査方向に対して AF 制御のみを行い、各波長のうねりに対してデフォーカス量 Z_x の最悪値を求めたもの、曲線 107D は、非走査方向に対して AF 制御、及び AL 制御を行い、各波長のうねりに対してデフォーカス量 Z_x の最悪値を求めたもの、曲線 107E は、走査方向及び非走査方向の両方向に対して AF 制御及び AL 制御を行った場合の総合的なデフォーカス量を (10) 式より求めたものである。

【0108】

また、図 20 では、完全先読み制御を行うと共に、AF 制御については得られ

るフォーカス位置の最大値 max と最小値 min との中間値を像面に近付ける補正 ($max-min$ 補正) を行い、AL 制御については最小二乗近似補正を行うという条件下で、ウエハの各波長のうねりに対する露光領域 46 でのデフォーカス量の残留誤差を計算した結果を示している。図 20 において、曲線 108A は、走査方向に対して AF 制御のみを行ったときのデフォーカス量の最悪値 (残留誤差)、曲線 108B は、走査方向に対して AF 制御、及び AL 制御を行ったときのデフォーカス量の最悪値、曲線 108C は、非走査方向に対して AF 制御のみを行ったときのデフォーカス量の最悪値、曲線 108D は、非走査方向に対して AF 制御、及び AL 制御を行ったときのデフォーカス量の最悪値、曲線 108E は、走査方向及び非走査方向の両方向に対して AF 制御及び AL 制御を行った場合の総合的なデフォーカス量を示している。

【0109】

図 19 及び図 20 より、10～35 mm の波長のうねりに対し、残留誤差が大きいのが確認できる。

これに対して、AF 制御を完全先読み制御で行い、AL 制御については位相回転誤差のみを先読み制御にて補正し、合焦系の応答周波数を 10 Hz とし、その他の条件を図 19、及び図 20 の場合と同じにしたときの残留誤差のシミュレーション結果をそれぞれ図 21、及び図 22 に示す。即ち、図 21 の計算条件は、AF 制御は平均値補正、AL 制御は最小二乗近似補正であり、曲線 109A～109E は図 19 の曲線 107A～107E に対応しており、図 22 の計算条件は、AF 制御は $max-min$ 補正、AL 制御は最小二乗近似補正であり、曲線 110A～110E は図 20 の曲線 108A～108E に対応している。

【0110】

図 21 及び図 22 より、10 Hz の応答周波数では長い波長のうねりの場合に残留誤差が少し悪化するものの、短い波長のうねりに対しては残留誤差が改善されることが分かる。(10) 式によって計算される総合的な残留誤差、即ち図 19～図 22 中の曲線 107E～110E で表される総合的な残留誤差を、それぞれ図 23 の曲線 111A～111D としてまとめて掲げてある。

【0111】

図 23 より、総合的な残留誤差が全部の波長のうねりに対して全体として最も小さいのは曲線 111D の場合、即ち AF 制御を完全先読みの max-min 補正とし、AL 制御を位相回転誤差のみを先読みによって補正することで行い、応答周波数を 10 Hz とした場合であることが分かる。

次に、この制御方法を用いて、先読み領域でのフォーカス位置の検出点の個数をそれぞれ図 10 (a) に示すように 3 点とした場合と、図 10 (b) に示すように 4 点以上の N 点 (図 10 (b) では $N=9$) とした場合とを比較する。この際に、AF 制御は完全先読みの max-min 補正を行い、AL 制御は、図 10 (a) の 3 点での先読み時には両端の 2 箇所の検出点 81A, 81C (又は 82A, 82C) でのフォーカス位置の検出結果より 2 次元的な傾斜角を求め、図 10 (b) の N 点での先読み時には N 個の検出点 81A~81I (又は 82A~82I) でのフォーカス位置の検出結果を最小二乗近似して 2 次元的な傾斜角を求めることを行う。また、AL 制御は、位相回転誤差のみを先読みにて補正し、応答周波数を 10 Hz としたときの残留誤差のシミュレーション結果を図 24 に示す。図 24 において、曲線 112A は N 点での先読みを行う場合、曲線 112B は 3 点での先読みを行う場合の残留誤差を示し、これらの結果より、3 点計測ではうねりの波長帯により大きい誤差となるのに対し、N 点計測では安定した結果が得られることが分かる。なお、AL 制御の 2 次元的な傾斜角は、先読み用検出点 81A~81E (又は 82A~82E) と図 8 に示す中央の検出点 83 とで求められる傾きを使用してもよいし、検出点 81A~81E 又は 82A~82E の時間軸により求めた傾きを使用してもよい。

【0112】

また、今後のデバイスはより大型化することが予想されるため、各ショット領域内で非走査方向に 2 個を超えるチップパターンを形成する (3 個取り以上にすること) はあまり無いと考えられる。そのため、先読み領域での 3 点計測では、非走査方向に 2 個取りを行う場合にチップパターン間のストリートライン上にフォーカス位置の検出点が重なって、チップパターンに対する合焦精度が低下する恐れがあるが、フォーカス位置の検出点を 4 点以上 (更に中央でも検出するものとする) とし、用途に応じて選択すれば合焦精度の低下は防止できる

。更に、空気揺らぎやAL制御性能から考えても、平均化効果を高めるために、先読み領域内でのフォーカス位置の検出点の個数は多い方が良い。

【0113】

以上の結果より、通常は先読み領域での非走査方向へのフォーカス位置の検出点の個数は5点が良い。但し、最近ではウェハの平坦化技術の進展により、各ショット領域内でのウェハの平面度は向上する傾向があると共に、各検出点での検出光の照明領域（干渉縞を投影する際には干渉縞の投影領域）を広くしてそれぞれ平均化効果を高めることも望ましい。そこで、非走査方向のフォーカス位置の検出点の間隔と、AFセンサ自体の計測再現性により最適な検出点の配置を決定すればよい。

【0114】

次に、既に図8を参照して説明したように、上記の実施の形態では高精度な先読み領域81、82の手前に、大きな検出レンジで大まかにフォーカス位置を検出するためのラフな検出点84A、84B及び85A、85Bが設定されている。このラフな検出点を使用した合焦方法の具体的な例につき説明する。

図25(a)、(b)は8インチのウェハW上で、それぞれ25mm(X方向の幅HX)×33mm(Y方向の幅HY)の大きさの多数のショットを露光する場合のショットマップを示し、図25(a)では、ウェハW上にショット領域SA1、SA2、…、SANがY方向に偶数個、X方向に偶数個配列され、図25(b)では、ウェハW上にショット領域SB1、SB2、…、SBMがY方向に偶数個、X方向に奇数個配列されている。また、ショット領域SA1は4個のチップパターン領域120A～120Dに区分され、他のショット領域も同じく4個取りとなっている。なお、図25(a)、(b)の矢印付きの軌跡121、123はそれぞれショット領域への露光順序を示している。

【0115】

一例として、図25(a)のショット領域SAi(i=1～N)に走査露光を行う場合には、スリット状の露光領域46に対してショット領域SAiを+Y方向(又は-Y方向)に走査すると共に、先読み領域内の検出点81A～81Cで検出されるフォーカス位置に基づいて合焦制御が行われる。また、ショット領域

間のステッピングは、軌跡 1 2 1 で示すように各行では X 方向に移動するように行われている。同様に、図 2 5 (b) のショット領域 S B 1 ~ S B M に走査露光を行う場合にも、軌跡 1 2 3 で示すように、各行では X 方向にステッピングが行われている。これらの例では、1 番目に露光するショット領域 S A 1, S B 1 の中心位置はウエハ W の X 方向の中心線からそれぞれ 37.5 mm (間隔 X L 1) 及び 50 mm (間隔 X L 2) の位置になっている。

【0116】

なお、図 2 5 のショットマップでは、ステッピング方向を Y 方向にした方がスループットが高くなる条件もあるが、例えばウエハの走査速度を 200 mm、加速度を 2500 mm/s^2 、加速終了から同期完了までの整定時間を 36 ms として、レチクルとウエハとを同時に加速するという条件では、レチクルの加減速時間が律速条件となり、ウエハのステッピング方向は特に問題ではない。但し、ショット領域は走査方向 (Y 方向) に長いものとして、Y 方向にステッピングするものとする、X 方向と Y 方向との加速度に大きな差が無い限り、Y 方向にステッピングするときにはステッピング時間が長くなるため、本例では非走査方向 (X 方向) にステッピングしている。

【0117】

また、通常のウエハでは、外周から 3 mm の幅の領域は一般に露光禁止帯とされており、その露光禁止帯のすぐ内側の露光可能領域で露光が行われるため、図 2 5 (a), (b) の 8 インチのウエハ W でも、外周から 3 mm 内側の露光可能領域 1 2 2 内でフォーカス位置の検出、及び走査露光が行われる。そのため、例えばウエハ W の X 方向の中心線から間隔 62.5 mm ($= 2.5 \times H X$) の位置にある仮想的なショット領域 A に対して露光を行うものとする、欠け部分が最大となる。即ち、仮に露光を行うものとする、ショット領域 A は欠け部分の大きい最悪のショット領域となる。

【0118】

そこで、図 2 5 (a) にて、ウエハ W の露光可能領域 1 2 2 内で先読みによるフォーカス位置の検出が可能となる位置を求めた結果が図 2 6 に示してある。この場合、例えばショット領域 A では、ウエハ W の外側から内側に相対的に露光領

域を走査するものとして、先読み領域内の3個の検出点82A～82Cでフォーカス位置を検出するものとする。この際には、+X方向の検出点82Cが最初にウエハWのエッジにかかり、露光可能領域122内に入るため、以下では検出点82Cを基準にして考える。

【0119】

図26において、横軸は図25(a)のウエハWのX方向の中心線からX方向への距離(mm)、縦軸は検出点82Cが露光可能領域122内に入るY方向の位置と、他の検出点82B、82Aが露光可能領域122内に入るY方向の位置との差分(以下、「AF先読み点82Cとの間隔」と呼ぶ)(mm)を表している。即ち、曲線113Dは、検出点82Bと82Cとの間隔、曲線113Eは検出点82Aと82Cとの間隔である。但し、曲線113Cは、検出点82CがウエハWの外周から露光可能領域122内に入るまでにウエハWが移動する間隔を表し、曲線113C上の点114は、図25(a)の最悪の条件のショット領域Aに露光する場合に対応している。また、曲線113Aは、検出点82CがウエハWの外周にかかってから検出点82BがウエハWの外周にかかるまでにウエハWが移動する間隔、曲線113Bは、検出点82CがウエハWの外周にかかってから検出点82AがウエハWの外周にかかるまでにウエハWが移動する間隔である。

【0120】

上記の曲線113C上の点114で示すように、図25(a)のウエハWの中心からX方向に62.5mmの最悪条件のショット領域Aでは、検出点82Cが最初に露光可能範囲122にかかるまでの間隔は5.4mmであり、そこから例えば40Hzの応答周波数で先読み制御した場合、1.6mmの先読み距離(先読み値が得られるまでの間隔)が必要となるので、露光領域46の手前に7mm(図8の間隔d1に相当する)に先読み領域81、82があれば良いことになる。しかし、図8の先読み領域81、82内の高精度な検出点用のセンサ部は、既に説明したように高精度を達成するために検出範囲(ダイナミックレンジ)が狭くなっている。その高精度なセンサ部に例えば10nm(0.01μm)の計測分解能を持たせると、その検出レンジはその1000倍程度の±10μm程度と

なる。

【0121】

ところが、図25のウエハWの外周部で、外側から先読み領域が入る際には±0.6mm程度フォーカス位置がずれている可能性があるため、高精度にフォーカス位置の計測を行う前に広い検出レンジ（ダイナミックレンジ）でラフにフォーカス位置を計測しておく必要がある。そこで、本例では図8に示すように、先読み領域81、82の手前にラフな検出点84A、84B及び85A、85Bを配置している。これらのラフな検出点でフォーカス位置を検出することによって、ウエハWの外周から3mmの幅の露光禁止帯の範囲においても、ウエハWの表面のフォーカス位置が像面に対して＋方向又は－方向のいずれにずれているかを判断することができ、これによって、図1のZチルトステージ9を駆動してウエハWの表面のフォーカス位置を高精度な検出点82A～82C等の検出レンジ内に引き込んでいる。また、図25のウエハWの外周から3mmの幅の露光禁止帯でもウエハWの表面のフォーカス位置はほぼ連続的に変化しているため、その露光禁止帯からラフな検出点でフォーカス位置を先読みすることによって、そのラフな検出点を高精度な先読み領域81、82のすぐ近傍に配置することができる。

【0122】

これに対して、ラフな検出点がウエハの外周の露光禁止帯の範囲にあるときにフォーカス位置を計測することができない場合は、高精度な検出点82A～82C等での先読みの性能を上げる必要がある。よって、図8の例では、高精度な先読み領域81、82の走査方向の幅 Δd を2mmとすると、40Hzの周波数応答では、先読み領域81、82に対して2～3mm手前にラフな検出点81A、81B及び82A、82Bを配置する必要がある。

【0123】

以上、ウエハの表面のうねりに追従するための合焦制御について述べたが、走査露光時に図1のXY θ ステージ10の走り面の傾斜角が変動することもある。その変動要因としては、XY θ ステージ10を保持するエアガイド面の平面度、エアガイドのエア供給の安定性、Zチルトステージ9の振動、ウエハステ

ージの定盤 11 を支持する不図示の防振台の揺れ等があり、その走り面の傾斜角の変動によって結果的に、投影光学系 PL の像面に対してウエハの表面のフォーカス位置、及び傾斜角の誤差が生ずる。前述のようにウエハの表面のうねりに対する制御応答は位相遅れ誤差を補正すればよいため、10 Hz 程度の小さい応答周波数でよいが、その傾斜角の変動周波数は最大でほぼ 100 Hz 程度であり、露光性能に悪影響を与える。

【0124】

更に、完全先読み制御方式で合焦を行う場合、AF センサによりフォーカス位置の先読みを行ってから、XYθ ステージ 10 の走り面の傾きは変動しないものとして制御すると、デフォーカスが発生することになる。そこで、本例では、既に説明したように、図 2 の干渉計本体 12 X、12 Y によって、試料台 8 の X 軸の周りのピッチング量 θX 、及び Y 軸の周りのローリング量 θY を計測し、XYθ ステージ 10 の走り面の傾斜角の変動によるデフォーカス量を 100 Hz 以上の応答周波数で制御できるような構成としている。即ち、各干渉計本体 12 X、12 Y にて計測可能なピッチング量 θX 、及びローリング量 θY による誤差は 100 Hz 程度の高応答周波数で制御し、AF センサ 44 A、44 C 等にて計測されたデフォーカス量は先読み制御を含めて 10 Hz 程度の低応答周波数で制御するようになっている。

【0125】

ここで、唯一干渉計本体 12 X、12 Y による計測のみでは分からない誤差として、XYθ ステージ 10 の走り面の Z 方向への変位がある。この Z 方向への変位は、干渉計本体 12 X、12 Y では計測できないからである。そこで本例では、干渉計本体 12 Y を用いて例えば図 11 において、試料台 8 のピッチング量 θX を所定の量 ΔY 移動する毎に順次計測し、そのピッチング量 θX に起因する Z 方向への変位を次式のように積算することによって、試料台 8 の Z 方向への変位量 Z_{AC} を求める。その後、その変位量 Z_{AC} を相殺するように Z チルトステージ 9 を駆動することで、合焦制御の追従速度が向上する。

【0126】

$$Z_{AC} = \sum \theta X \cdot \Delta Y \quad (11)$$

但し、これらの誤差は非常に小さいので、特に補正動作を行わない場合でも、本例のように、露光領域46の中央の検出点83でのフォーカス位置に基づいて追従制御を行うことによって、残留誤差はほぼなくすることができる。なお、その露光領域46の中央の検出点83でのフォーカス位置の検出精度をあまり高められない場合には、その検出点83では大きなデフォーカス量が発生しているかの確認のみを行い、大きいデフォーカス量がある場合、エラー（警告）を出すように運用してもよい。

【0127】

上記の実施の形態によれば、走査露光時の高精度な先読み領域81、82の手前にラフな検出点を配置しているので、例えばウエハの外周から幅3mmの露光禁止帯のすぐ内側より高精度にオートフォーカス、及びオートレベリング制御を行うことが可能となる。更に、各干渉計本体12X、12Yにて計測可能な誤差は100Hz程度の高応答で制御し、AFセンサ44A、44C等にて計測された誤差は先読み制御を含めた10Hz程度の低応答で制御するようになっているので、高い合焦制御性能を得ることができる。

【0128】

また、(A) 試料台8の走査方向への傾き（ピッチング量）の変動量を干渉計本体12Yにより順次求め、その積算を行うか、(B) 先読み領域81、82の手前にフォーカス位置のラフな検出点を配置する外に、露光領域46の中心にも追従制御用（又は確認用）の検出点83を配置し、最終的に残った微少な残留誤差を先読み制御無しに補正するか、又は(C) XYθステージ10を移動させたときのAFセンサ44A、44C等の検出値から各座標でのデフォーカス量、及び傾斜角の変動量を求め、XYθステージ10の座標位置に応じたマップとして記憶し、そのマップに基づいてAFセンサ44A、44C等による計測値を補正する制御方法の少なくとも1つを実行すれば、フォーカス位置の先読み領域から露光中心位置までのステージの走り面に依存した誤差を除去できるので、ウエハステージの姿勢変化に依存しない制御を行うことが可能となる。

【0129】

また、図12のスーパーフラット厚ウエハ89を複数の露光装置の調整に用い

ることで、共通の絶対基準となる平面を与えることができるため、露光装置毎の焦点深度ばらつきも軽減することができる。

なお、本発明の実施の形態では屈折型の縮小投影光学系を用いているが、今後投影光学系の開口数が例えば0.7～0.8程度に高まる場合には、投影光学系としてはA r F、又は F_2 等エキシマレーザ光等を露光光とした反射屈折型縮小投影光学系が有利になるが、これによって、投影光学系の射出面とウエハとの間の作動距離が益々小さくなる。本発明はこのような露光装置に関しても、効果的に適用できることは言うまでもない。更に、本例は所定のステージ制御能力を有するステージ系を使用しているが、更にステージ系の性能が向上したときもフォーカス位置の先読み点の配置等を最適化することで同様の効果がある。

【0130】

更に、本発明の実施の形態ではピッチング、ローリングを計測する干渉計としてコリメータタイプのものを使用したが、複数のレーザビームを移動鏡（ミラー面）に照射し、その各レーザビームによる計測値の差分の傾斜角を求める方法を適用してもよい。また、上述の実施の形態をEB（電子ビーム）露光装置やX線露光装置に適用してもよい。また投影光学系は反射系でもよく、EB露光装置の場合は電磁レンズとなる。

【0131】

このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0132】

【発明の効果】

本発明の第1の投影露光方法によれば、基板ステージのピッチング量に応じて先読みされる基板の高さを補正しているため、走査露光方式で露光を行う場合に露光対象の基板の表面を高精度に像面に合わせ込むことができる利点がある。

また、本発明の第2、又は第3の投影露光方法によれば、走査露光方式で露光を行う場合に、露光対象の基板を移動するためのステージの走り面の傾斜角が緩やかに変化しているような場合でも、走査露光中にその基板の表面を高精度に像面に合わせ込むことができる利点がある。

【 0 1 3 3 】

また、本発明の第 1 の投影露光装置によれば、その第 1 の投影露光方法を使用できる。

また、本発明の第 2 の投影露光装置によれば、基板の表面が大きくうねっているか、又は基板ステージの走り面の傾斜角が大きく変動している場合でも、その第 1 の投影露光方法を使用できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態の一例で使用される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図 2】

図 1 の投影露光装置のウエハ側のステージのレーザ干渉計システムを示す一部を簡略化した斜視図である。

【図 3】

(a) は図 2 の分岐合成光学系 1 3 X、及びこの周辺の部材の構成を示す正面図、(b) は図 3 (a) のダブルパスユニット 1 8 X等を示す平面図である。

【図 4】

ダブルパス干渉方式によってミラー面 8 x の傾斜が計測用ビーム L X 1 の横シフトを生ずることの説明図である。

【図 5】

図 2 におけるステージ回転角検出系 1 5 Xを示す構成図である。

【図 6】

(a) は、図 5 の計測用ビーム L X 1 の横シフトによって回折格子 3 5 B 上で 2 光束の集光点が移動する様子を示す図、(b) は図 5 の計測用ビーム L X 1 の傾斜によって回折格子 3 5 A 上で 2 光束の集光点が移動する様子を示す図である。

【図 7】

本発明の実施の形態における A F センサ 4 4 A の高精度なセンサ部の構成を示す側面図である。

【図 8】

その実施の形態における露光領域、及びフォーカス位置の検出点の配置を示す平面図である。

【図 9】

(a) はその実施の形態における AF センサ 44A の広い検出レンジのセンサ部の構成を示す側面図、(b) は図 9 (a) 中のスリット像等を示す図である。

【図 10】

(a) はフォーカス位置の検出点の配置の他の例を示す平面図、(b) はフォーカス位置の検出点の配置の更に他の例を示す平面図である。

【図 11】

ウエハステージの走り面の傾斜角変動によってピッチング量 θX が変化する様子を示す図である。

【図 12】

試料台 8 上でウエハホルダ 88 の代わりにスーパーフラット厚ウエハ 89 を載置する様子を示す説明図である。

【図 13】

(a) はスーパーフラット厚ウエハ 89 を示す平面図、(b) は図 13 (a) の側面図である。

【図 14】

部分先読みで合焦制御を行う場合の残留誤差を示す図である。

【図 15】

ウエハステージの加速度と 1 ショット当たりの処理時間との関係を示す図である。

【図 16】

位相回転誤差を完全に取り除くために必要な露光領域と先読み領域との間隔を示す図である。

【図 17】

位相回転誤差を補正する場合、及び更にゲインを上げる場合の説明に供する図である。

【図 18】

ウエハの表面のうねりによってデフォーカス量が変化する状態を示す図である。

【図 19】

A F 制御について平均値補正を行い、A L 制御について最小二乗近似補正を行う場合のフォーカス位置の残留誤差を示す図である。

【図 20】

A F 制御について $\max - \min$ 補正を行い、A L 制御について最小二乗近似補正を行う場合のフォーカス位置の残留誤差を示す図である。

【図 21】

合焦系の応答周波数を 10 Hz として、A F 制御について平均値補正を行い、A L 制御について最小二乗近似補正を行う場合のフォーカス位置の残留誤差を示す図である。

【図 22】

合焦系の応答周波数を 10 Hz として、A F 制御について $\max - \min$ 補正を行い、A L 制御について最小二乗近似補正を行う場合のフォーカス位置の残留誤差を示す図である。

【図 23】

図 19～図 22 中のフォーカス位置の総合的な残留誤差をまとめて示す図である。

【図 24】

フォーカス位置の先読み点数を 3 点、及び N 点にした場合の A L 制御での残留誤差を示す図である。

【図 25】

(a) はウエハ W 上を X 方向、Y 方向にそれぞれ偶数個のショット領域に分割するショットマップを示す図、(b) はウエハ W 上を X 方向に奇数個、Y 方向に偶数個のショット領域に分割するショットマップを示す図である。

【図 26】

フォーカス位置の先読み位置がウエハの外周から露光可能領域にかかるまでに

ウェハが移動する間隔等を示す図である。

【符号の説明】

R レチクル

PL 投影光学系

W ウェハ

2 レチクルステージ

7 主制御系

8 試料台

8x, 8y ミラー面

9 Zチルトステージ

10 XYθステージ

11 定盤

12X, 12Y 干渉計本体

44A, 44C AFセンサ

45 合焦制御系

46 露光領域

81, 82 先読み領域

81A～81E, 82A～82E 高精度な検出点

84A, 84B, 85A, 85B 大まかな（ラフな）検出点

89 スーパーフラット厚ウェハ



特平 10-017222

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

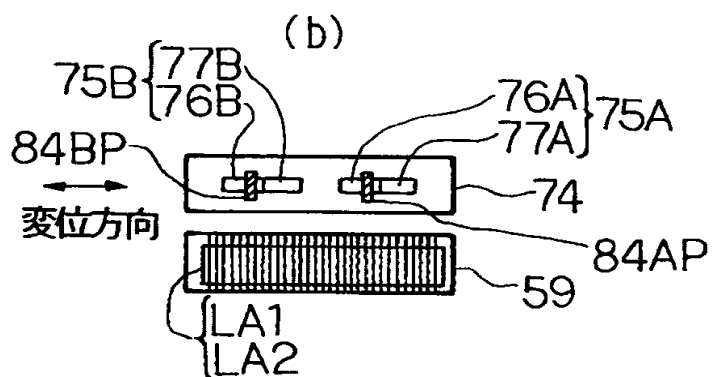
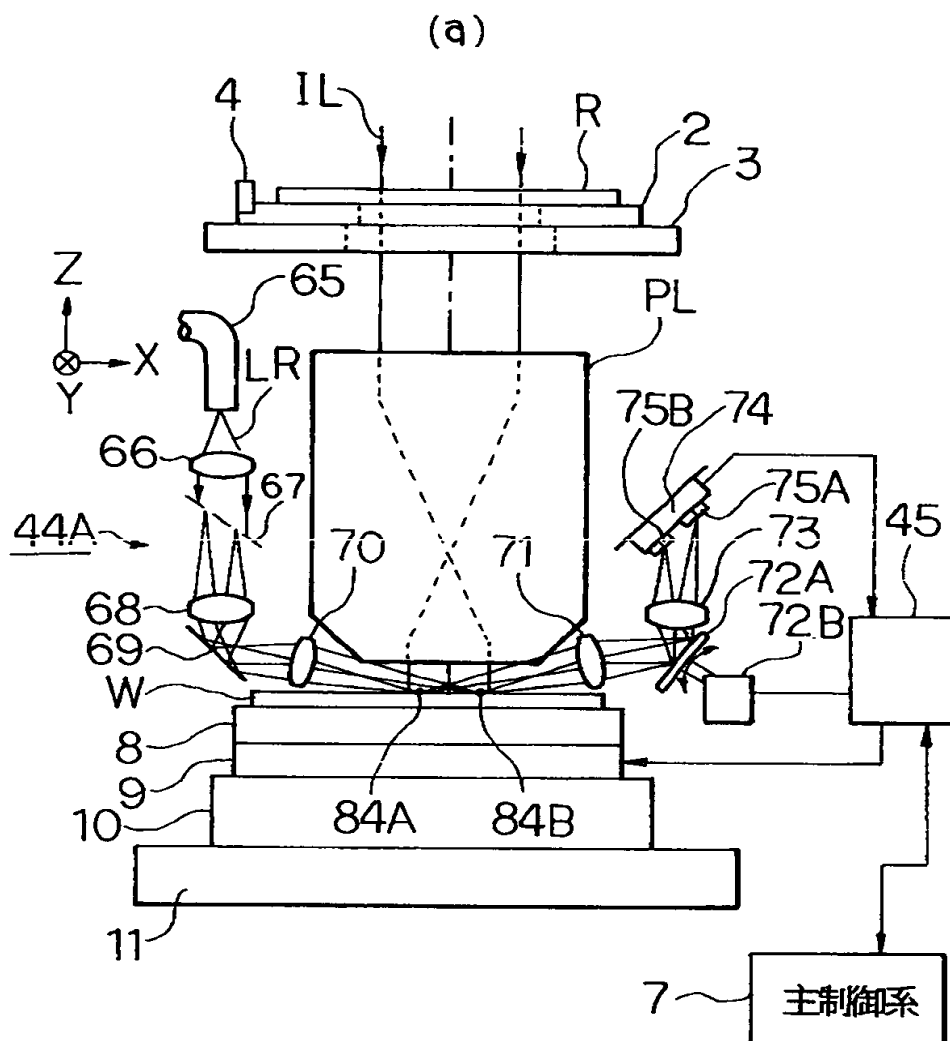
1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

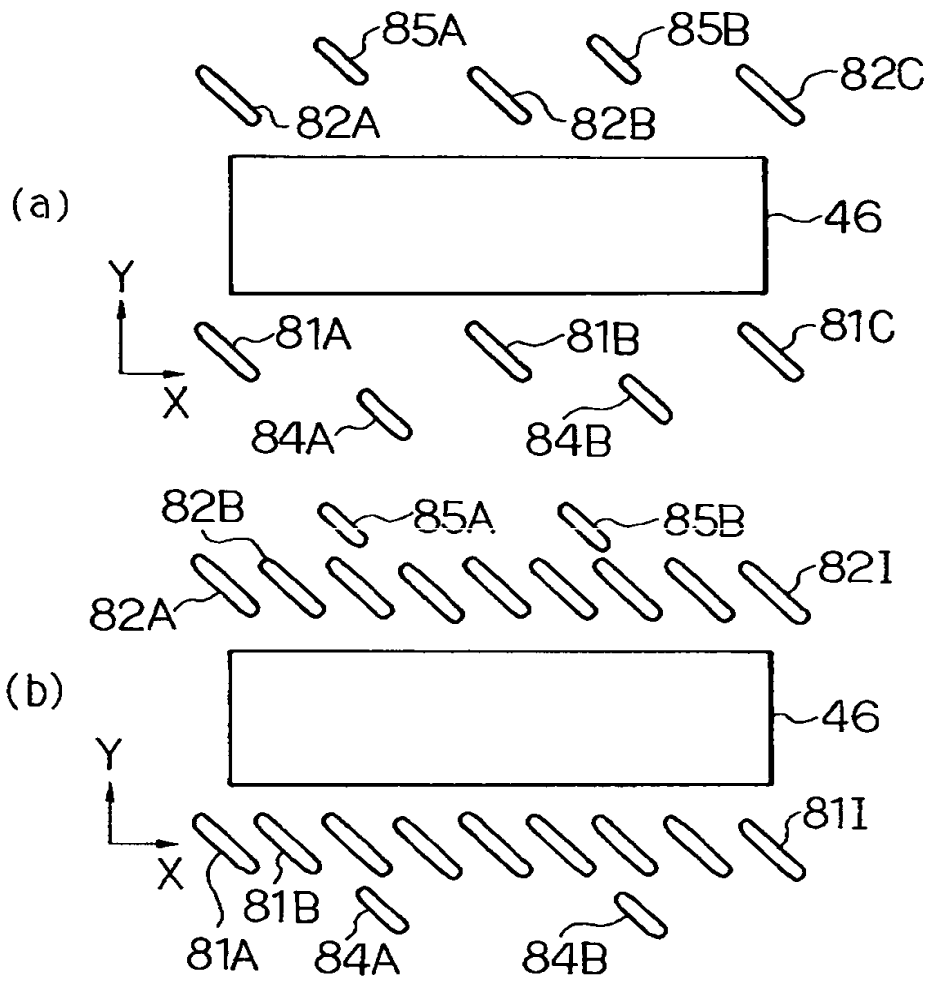
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

氏 名 株式会社ニコン

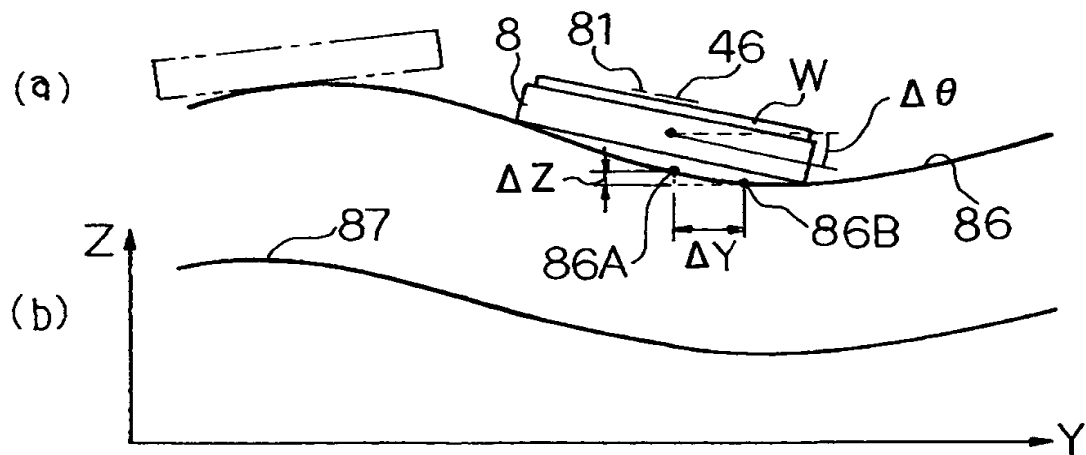
【图9】



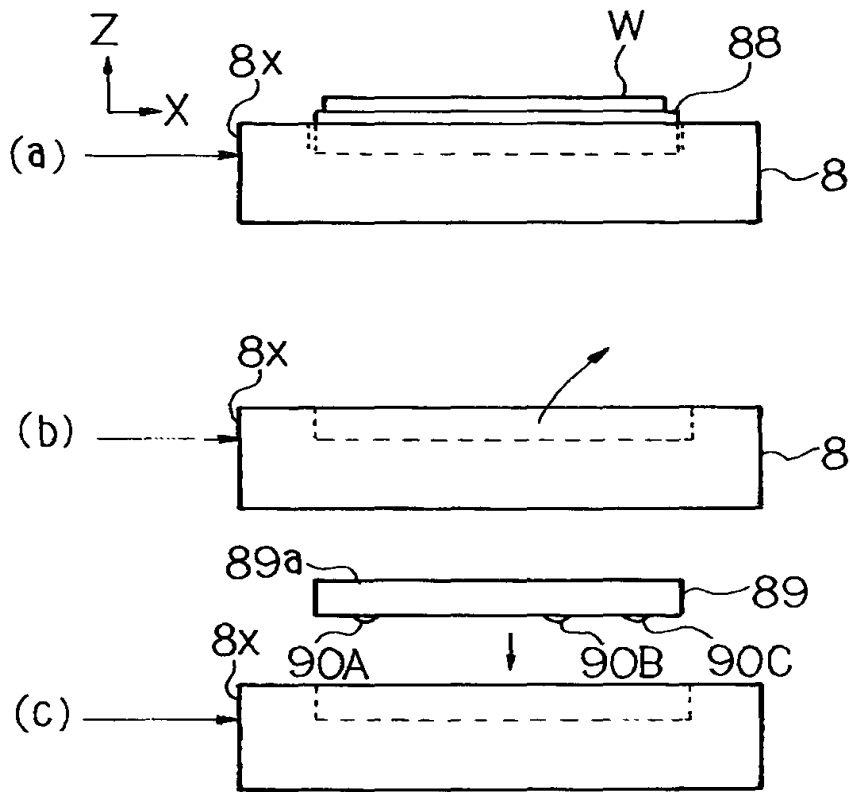
【図10】



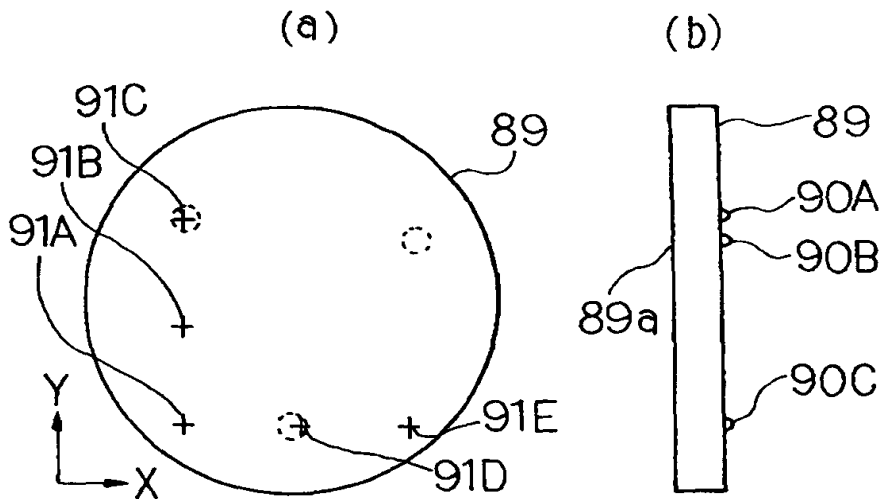
【図11】



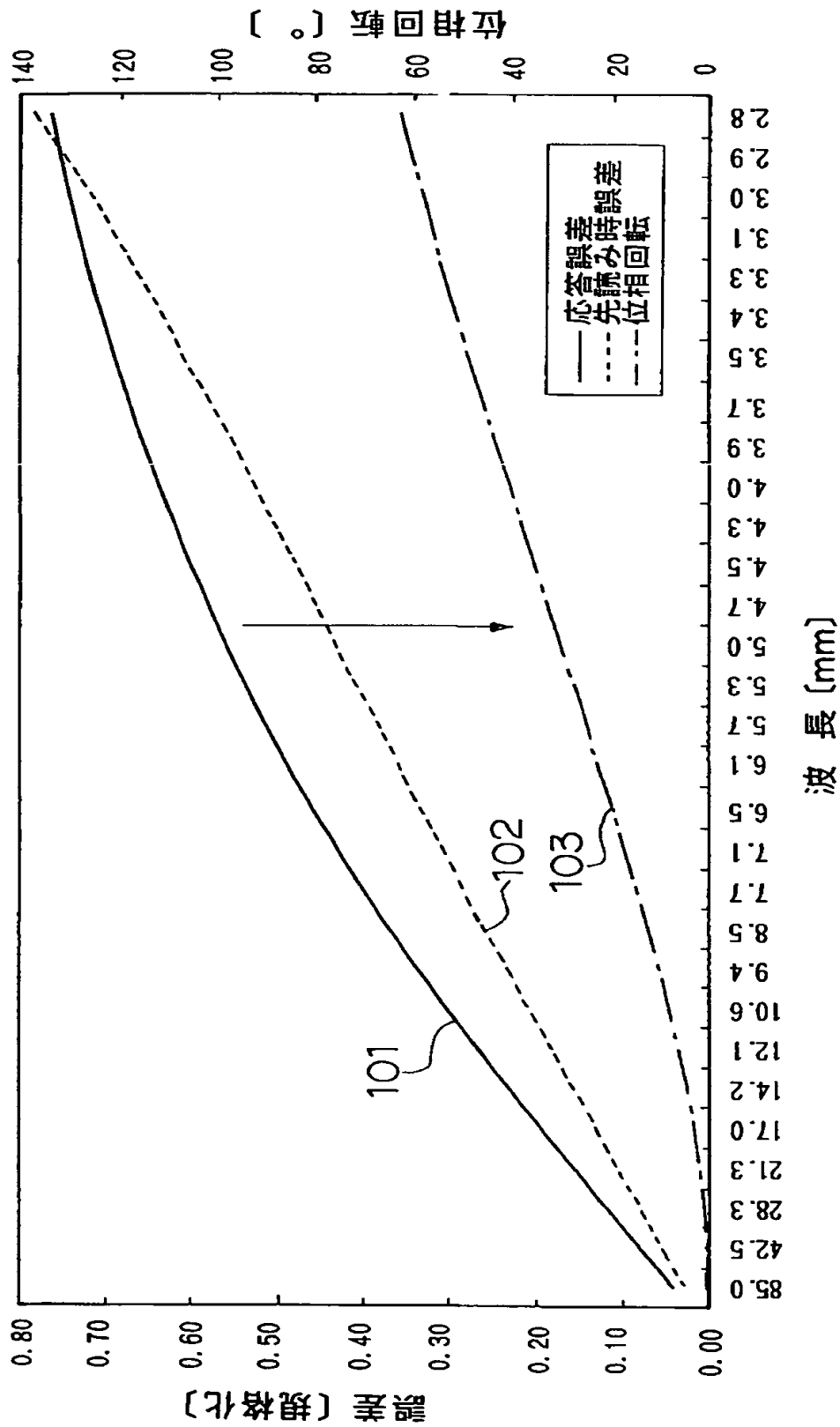
【図12】



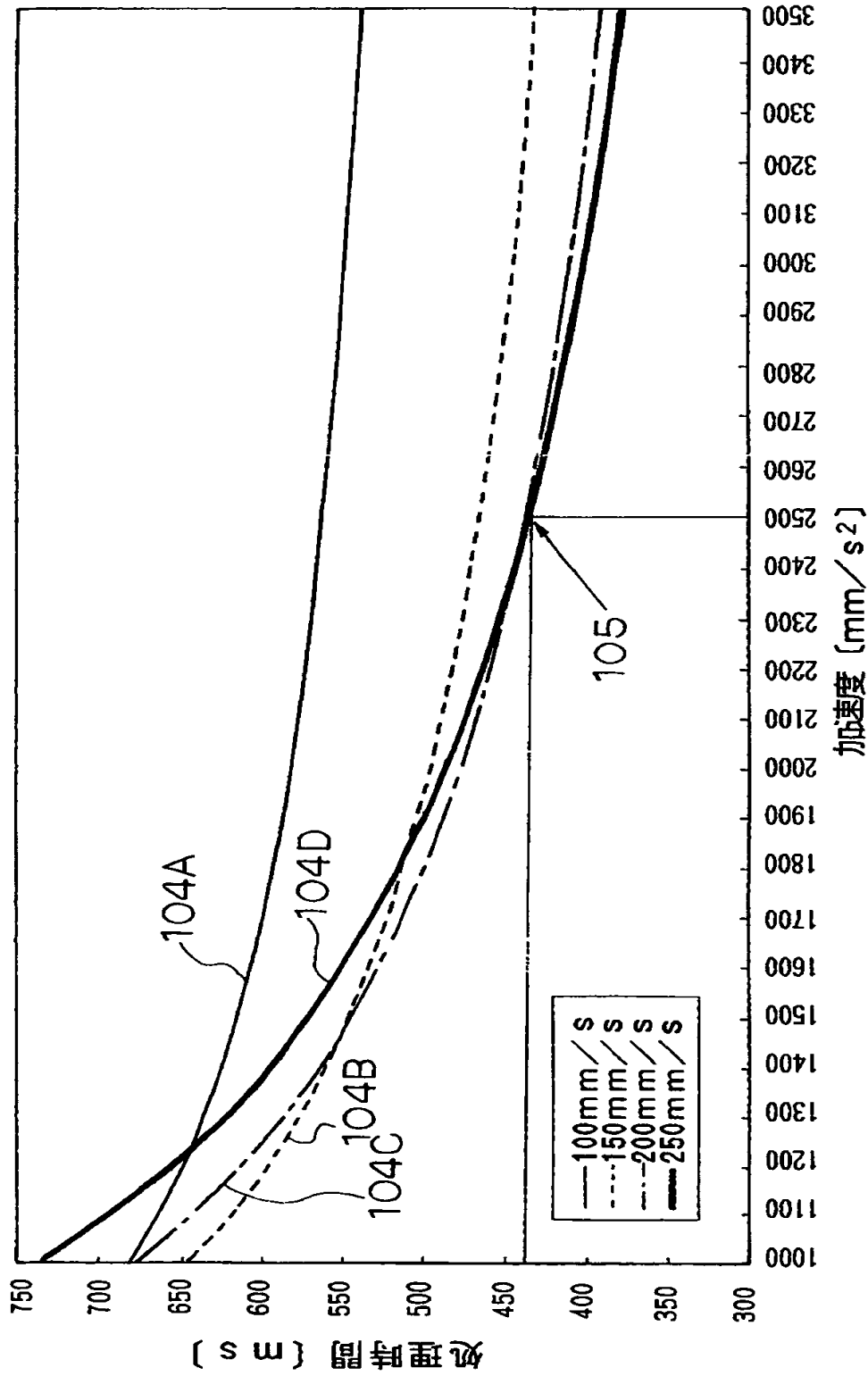
【図13】



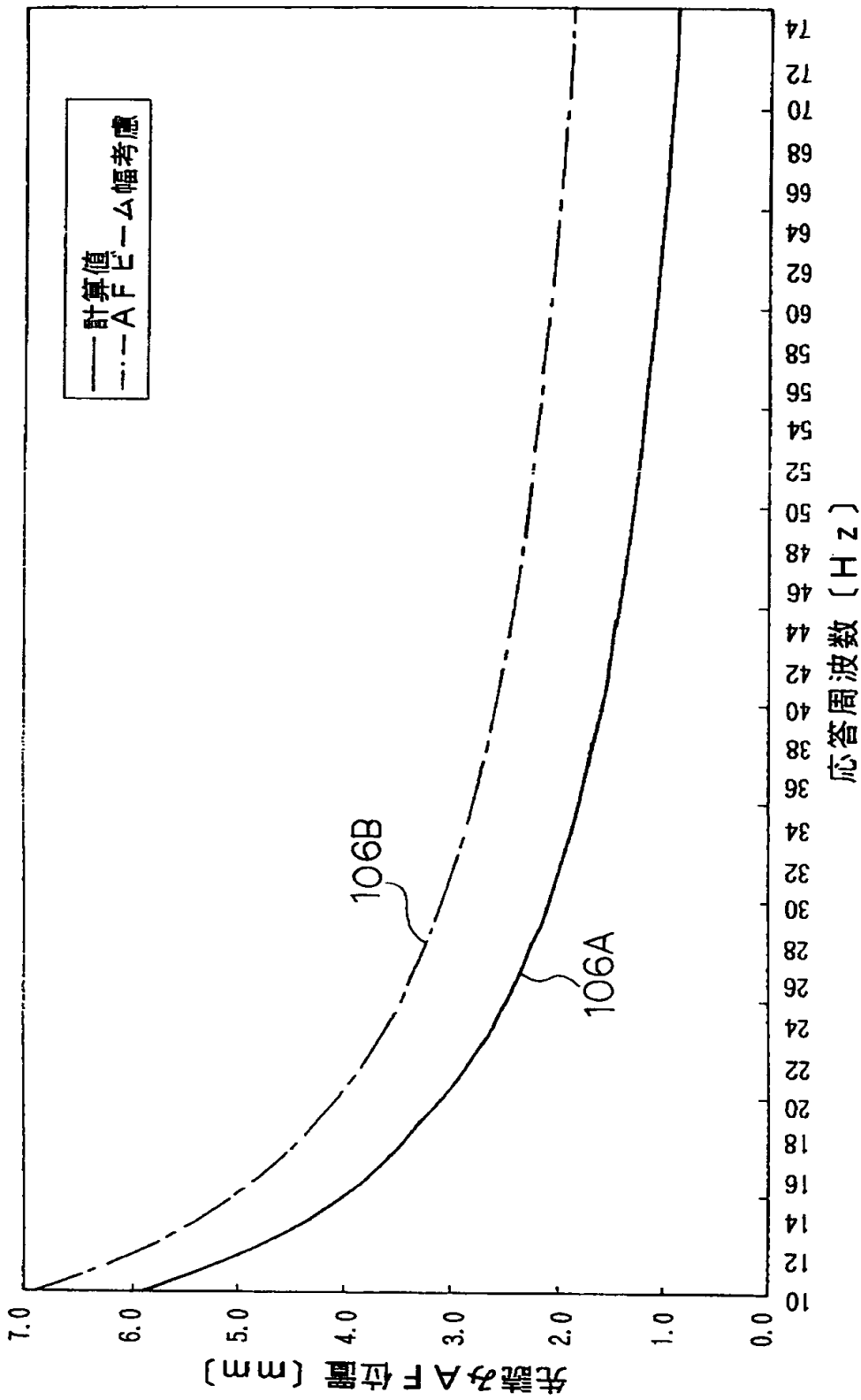
【図 1 4】



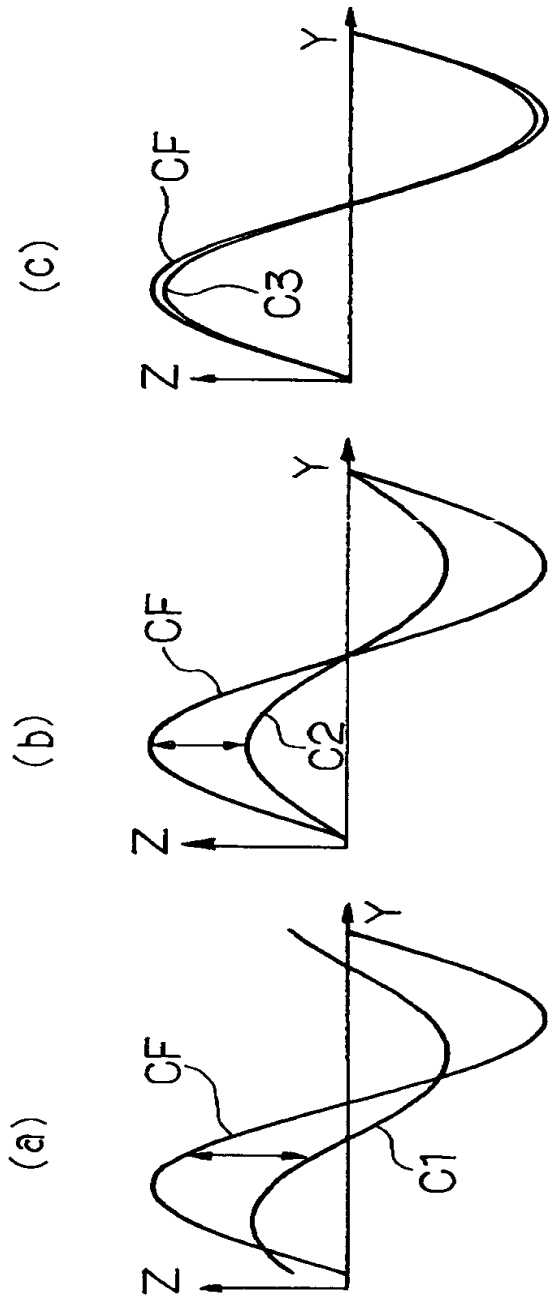
【図 15】



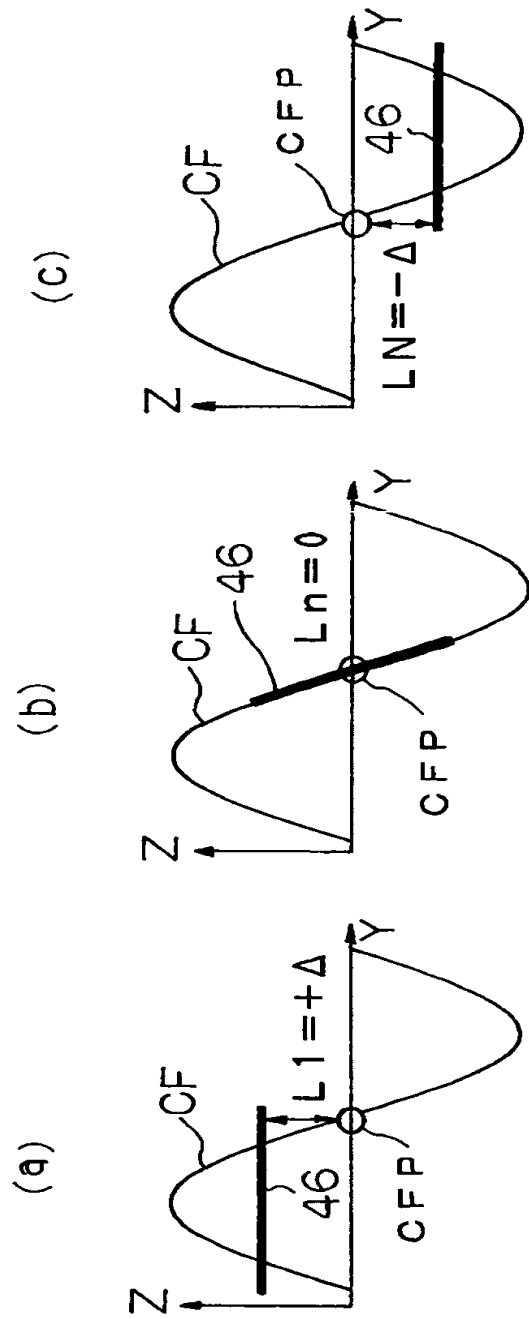
【図 16】



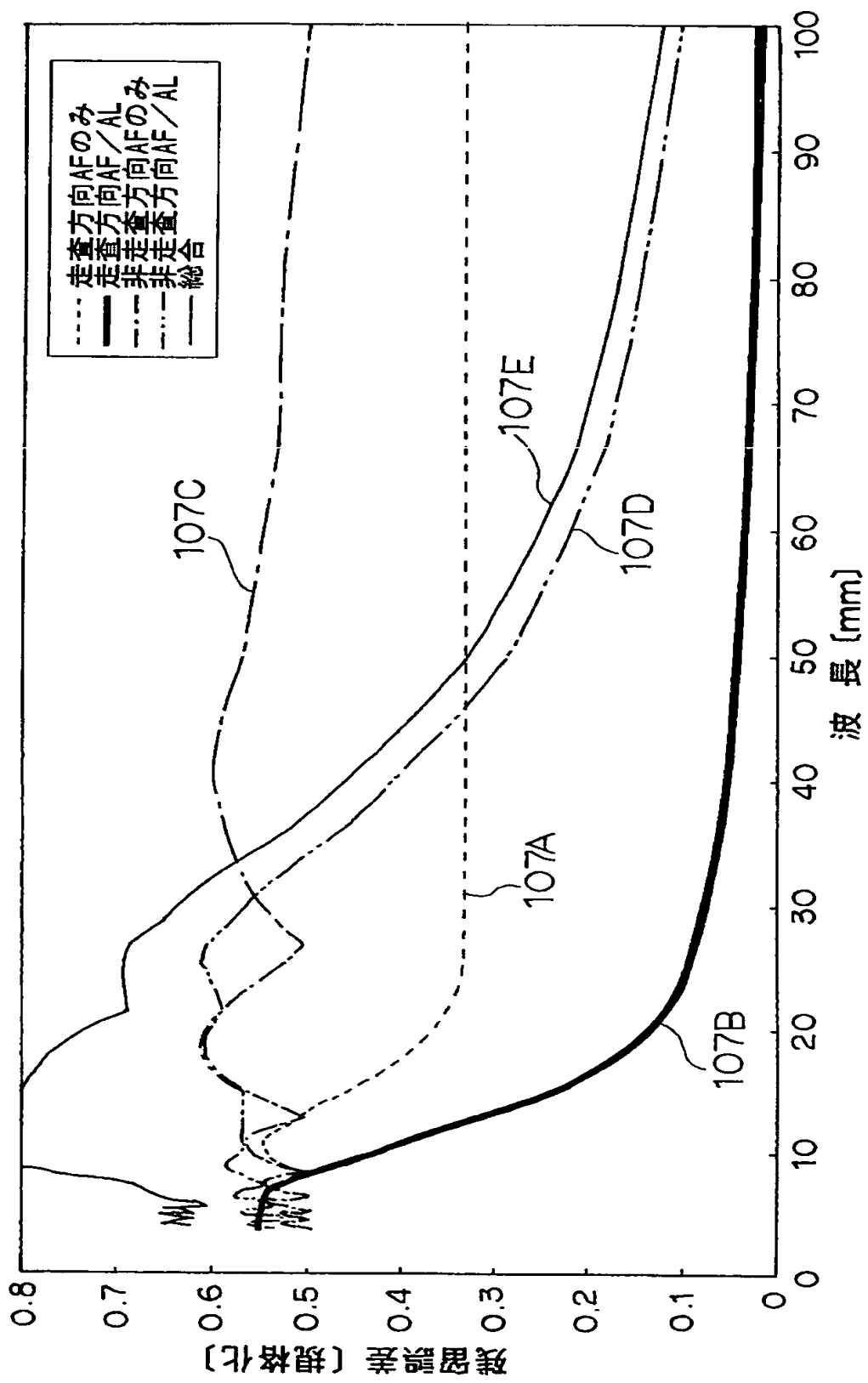
【图 1 7】



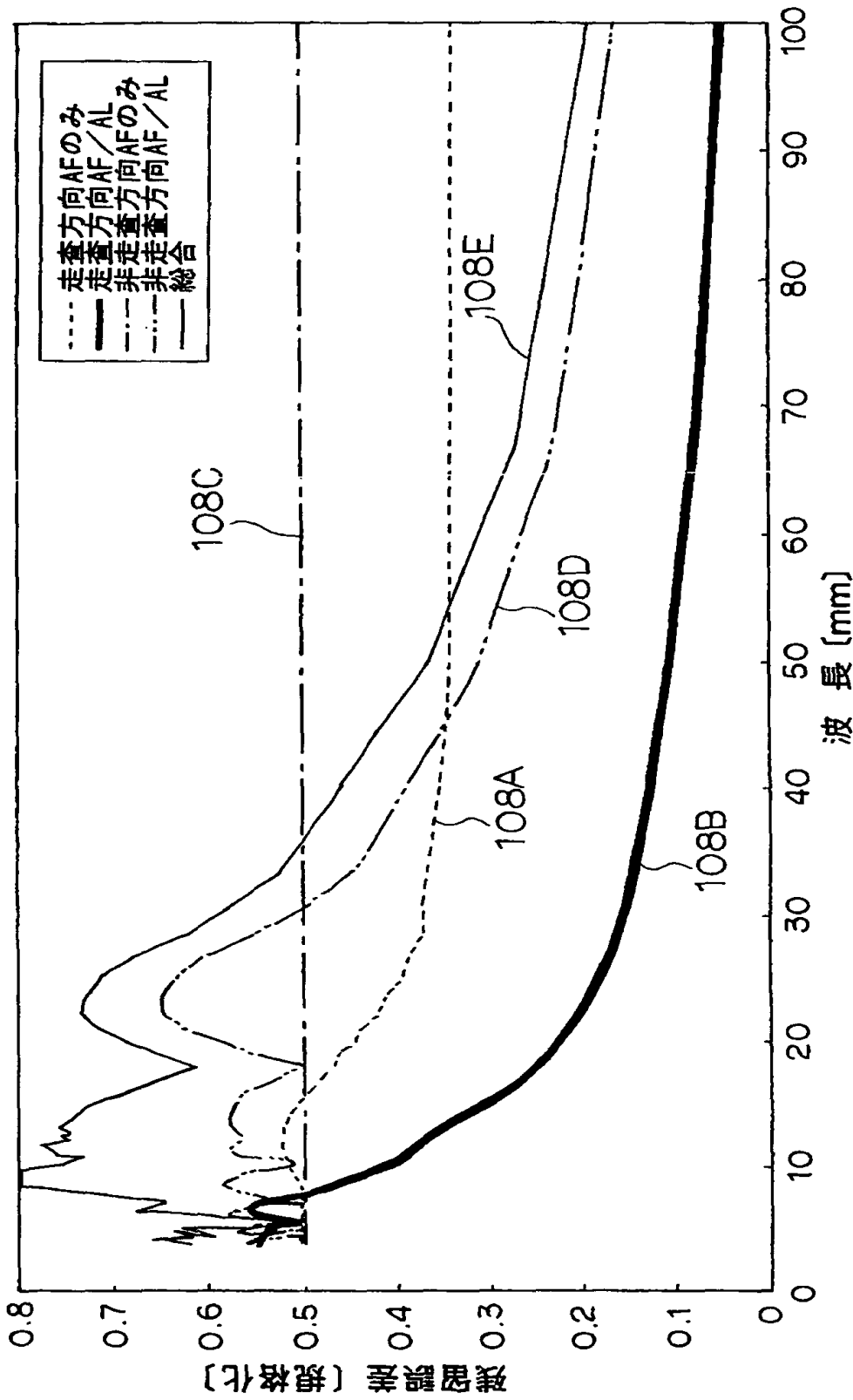
【図 18】



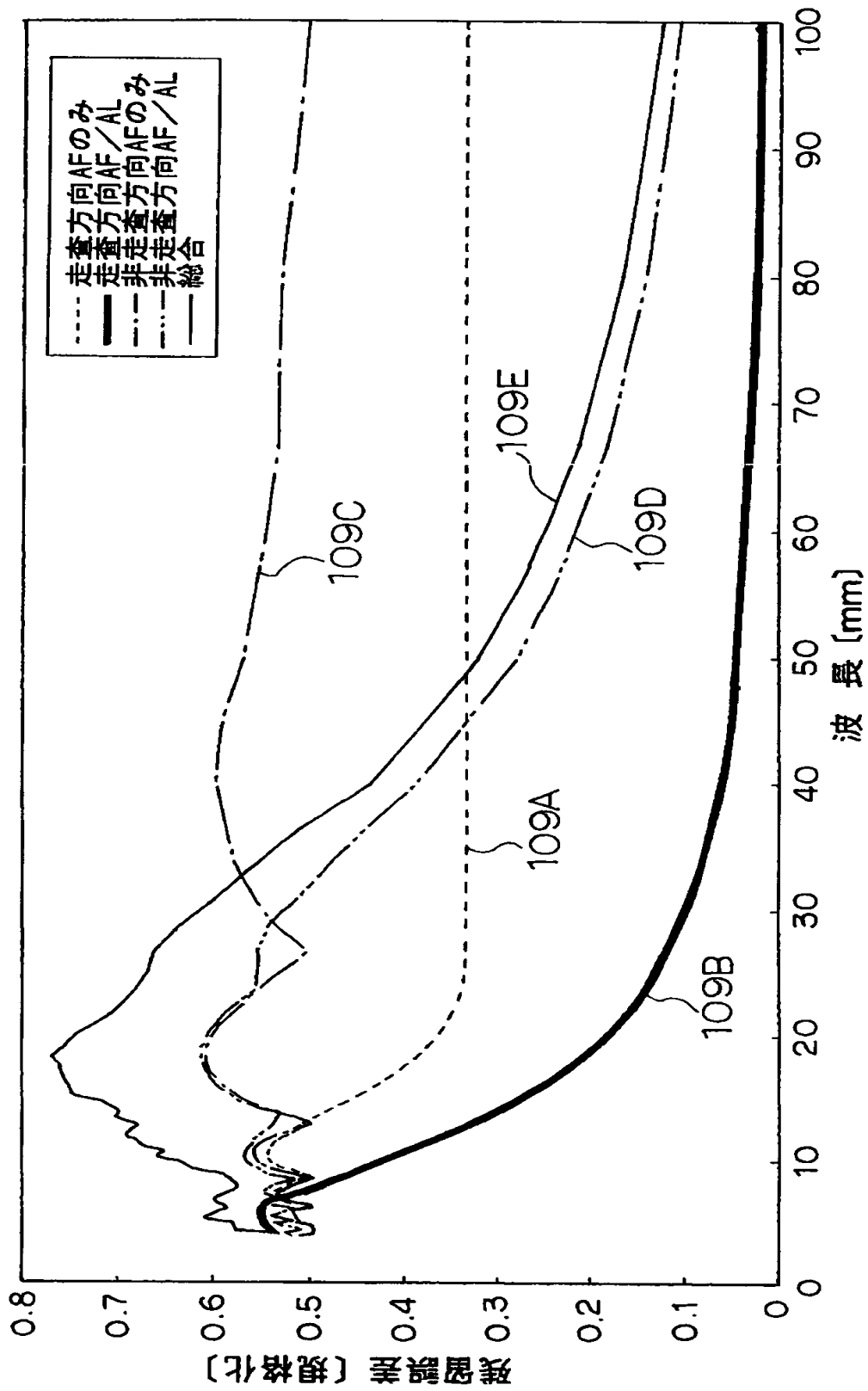
【図 19】



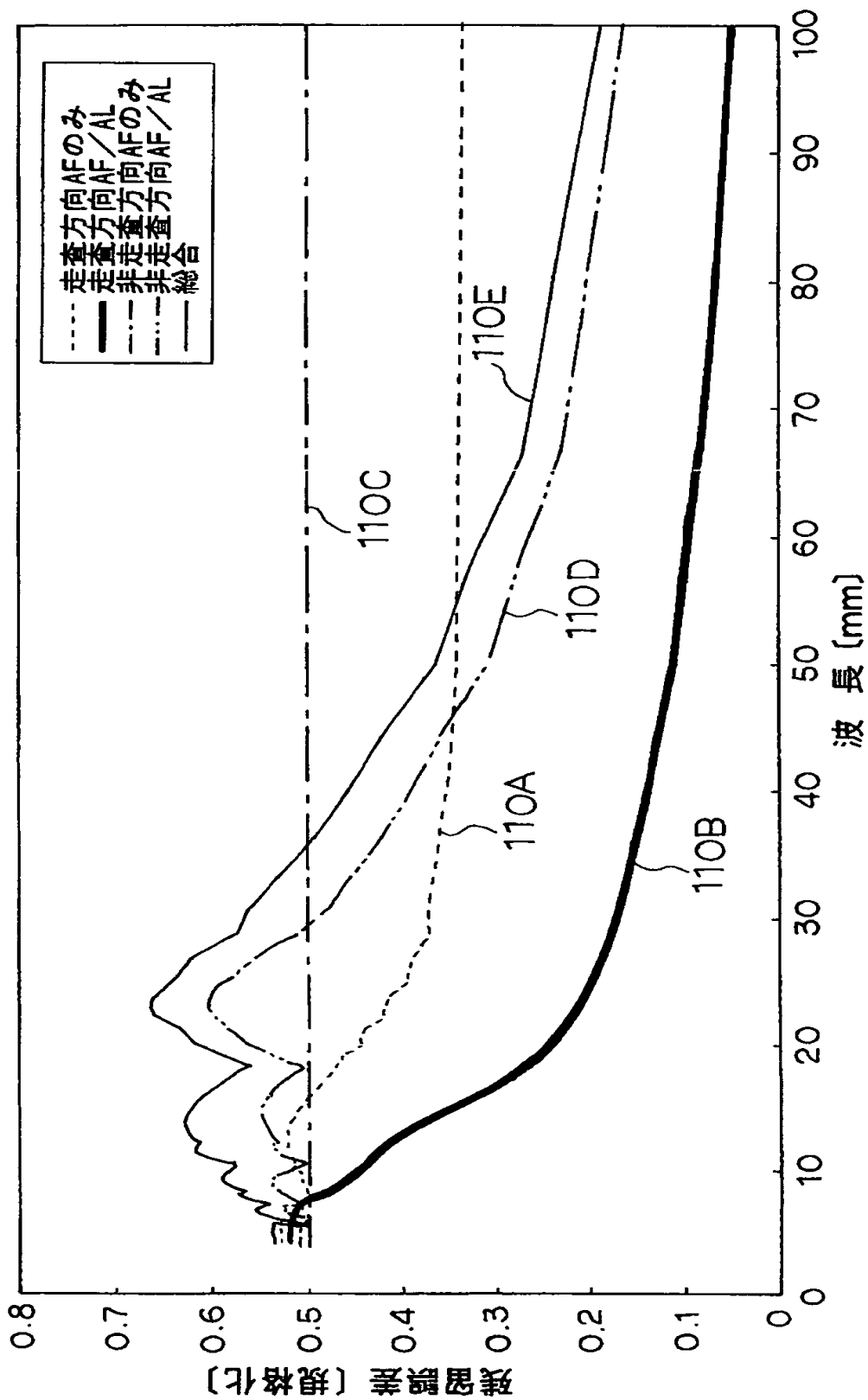
【図20】



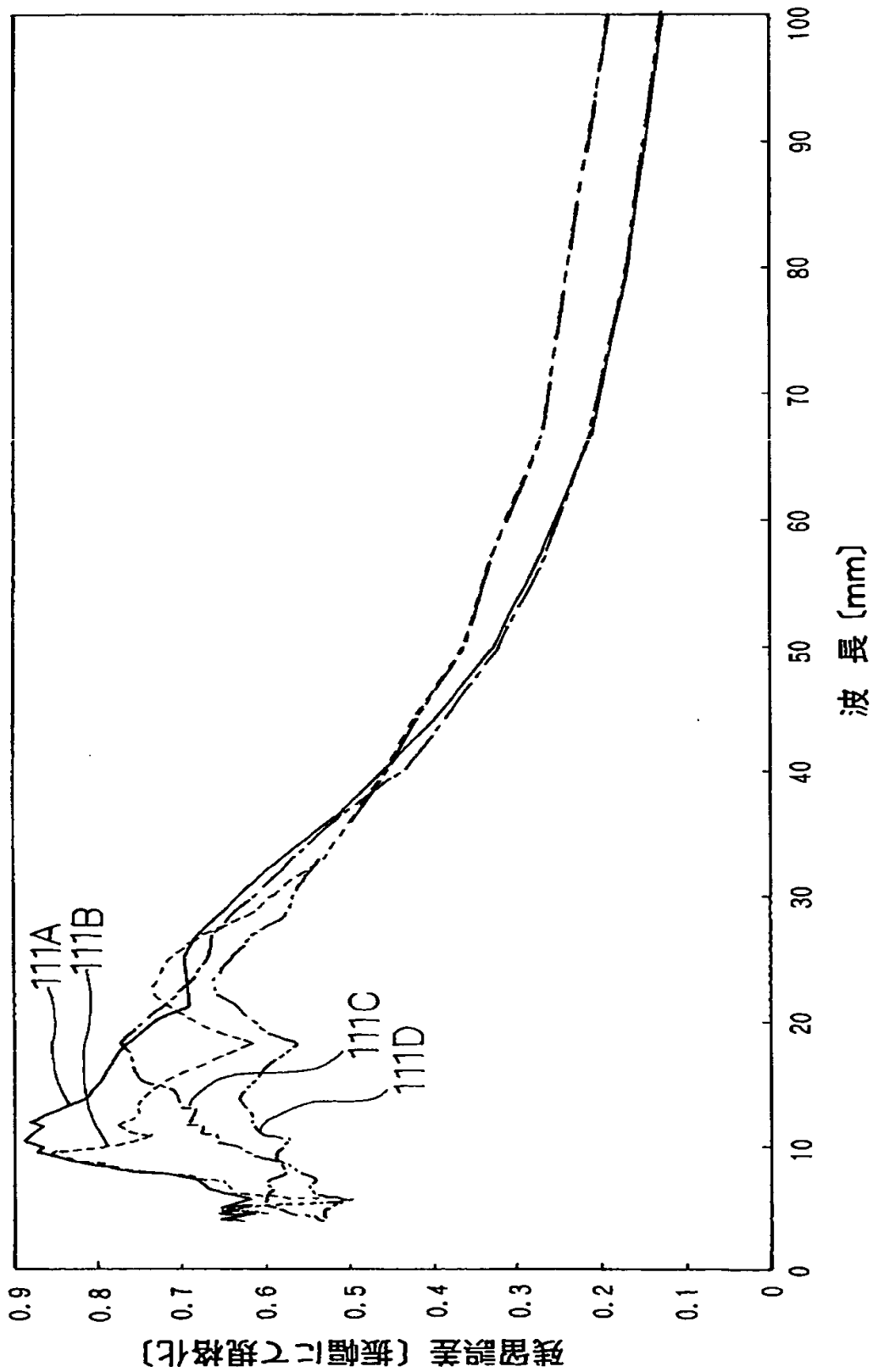
【図21】



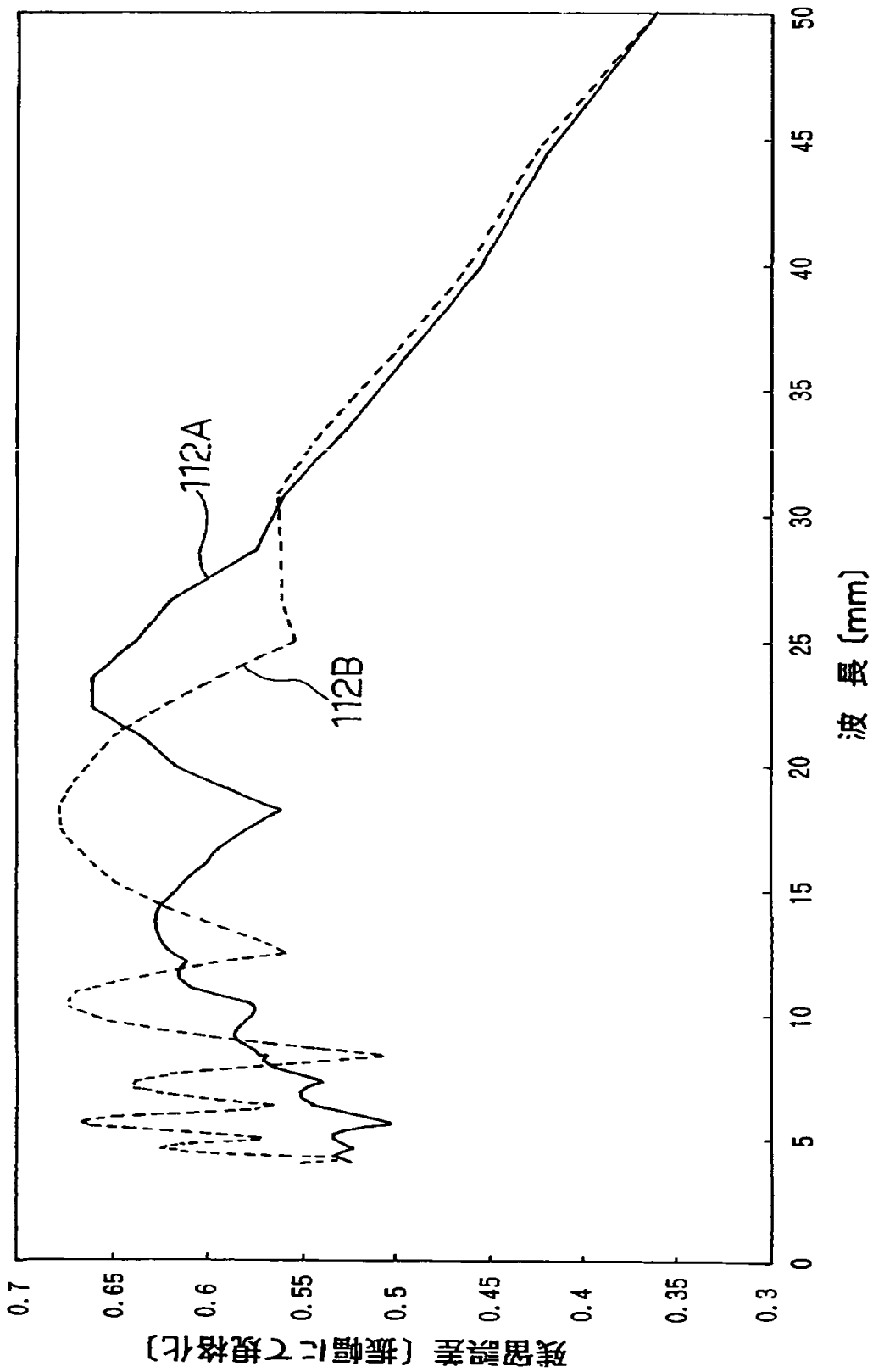
【図 22】



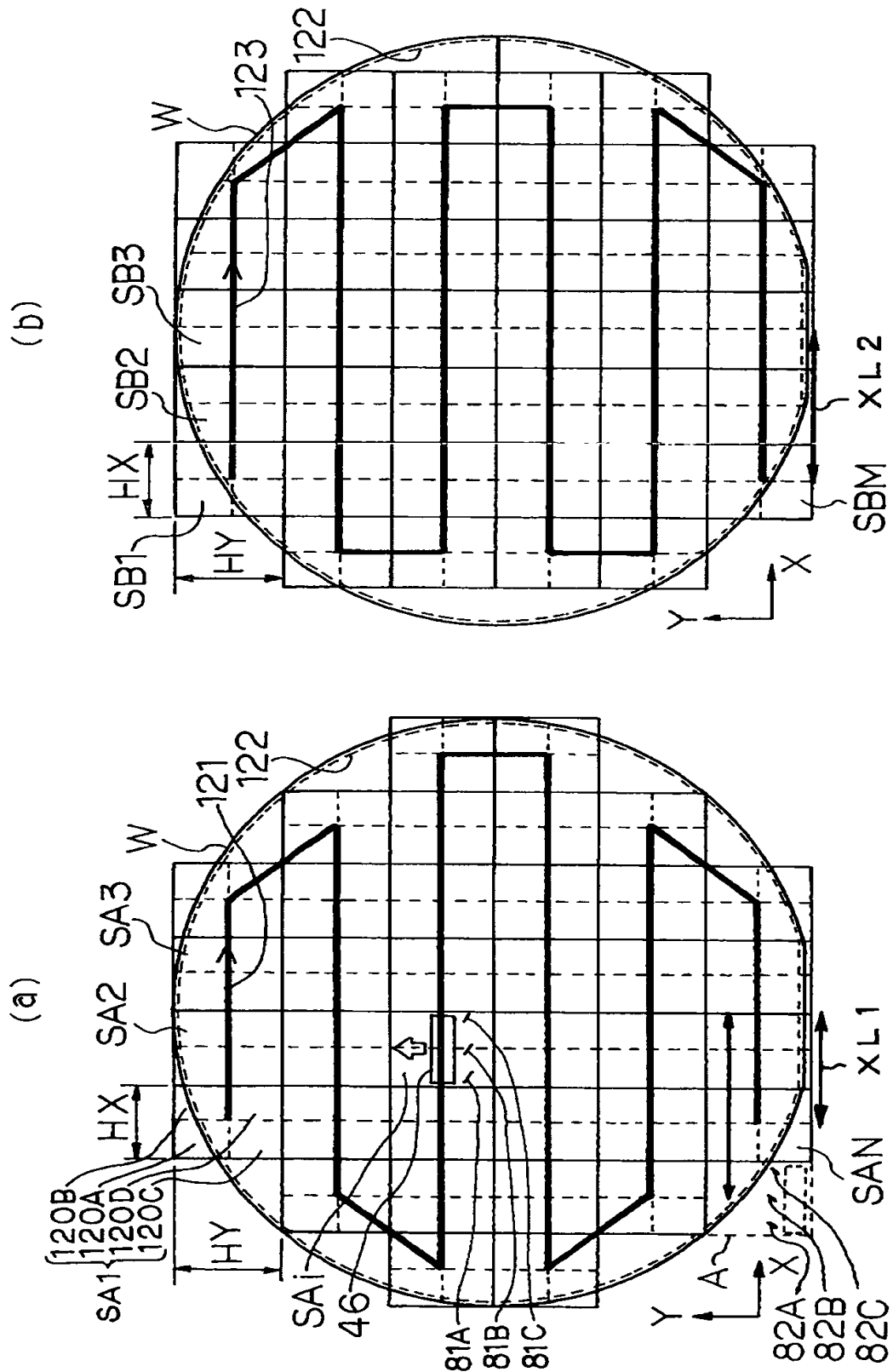
【図 23】



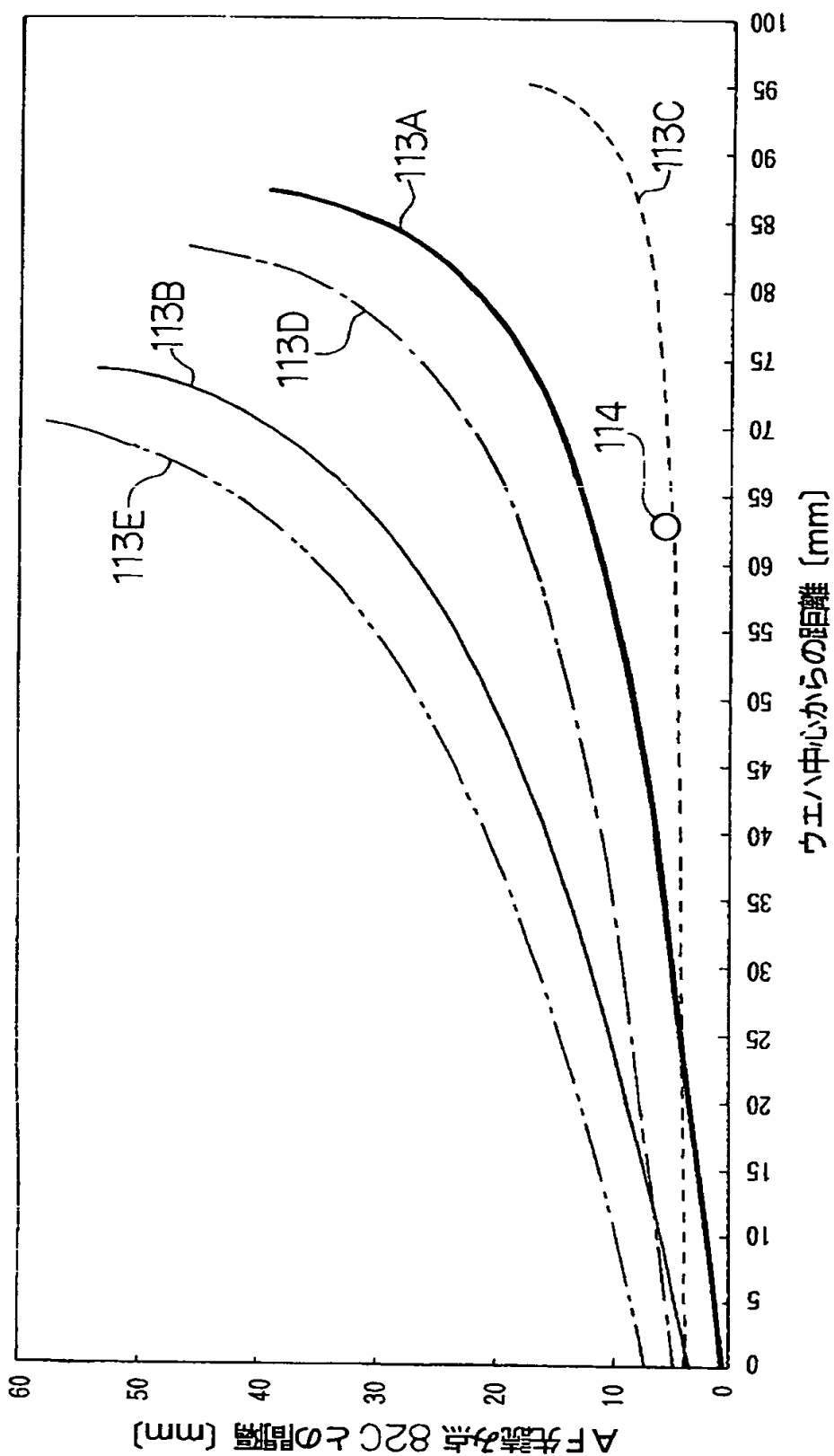
【図 24】



【図 25】



【図 26】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 走査露光方式で露光を行う場合に、ウエハステージの走り面の傾斜角が変動する場合でも、露光対象のウエハの表面を高精度に像面に合わせ込むことができる投影露光方法を提供する。

【解決手段】 ウエハ上の露光領域46に対して走査方向の手前側に検出レンジは狭いが高精度にフォーカス位置を検出できる先読み領域81, 82を設け、先読み領域81, 82で検出されるフォーカス位置に基づいて露光領域46での合焦を行う。先読み領域81, 82でウエハの表面をフォーカス位置の検出レンジ内に収めるために、先読み領域81, 82の手前にフォーカス位置を広い検出レンジで大まかに検出するラフな検出点84A, 84B及び85A, 85Bを設け、ラフな検出点での検出結果に基づいてウエハのフォーカス位置を大まかに像面に合わせ込む。

【選択図】 図8



特平 10-017222

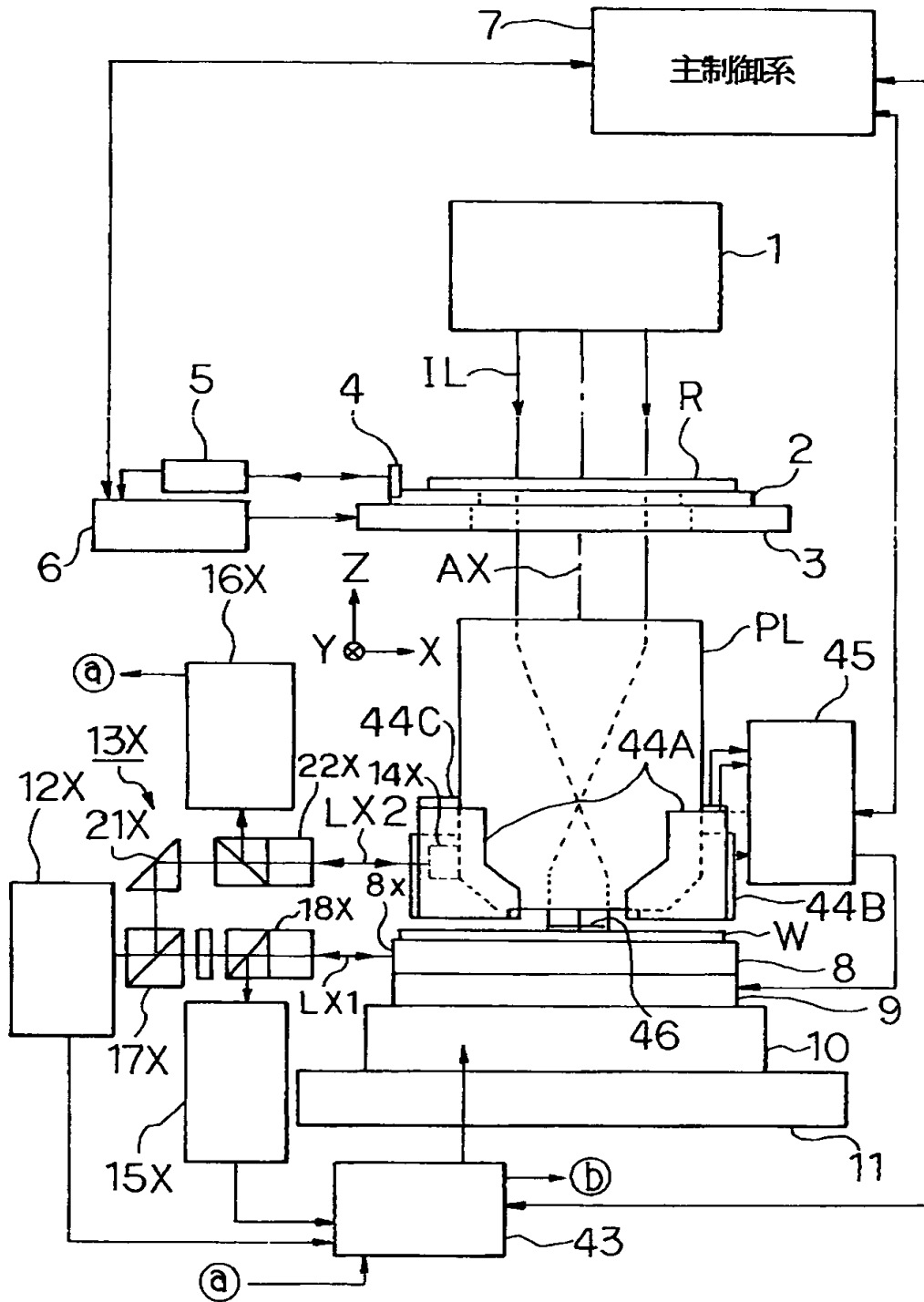
【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

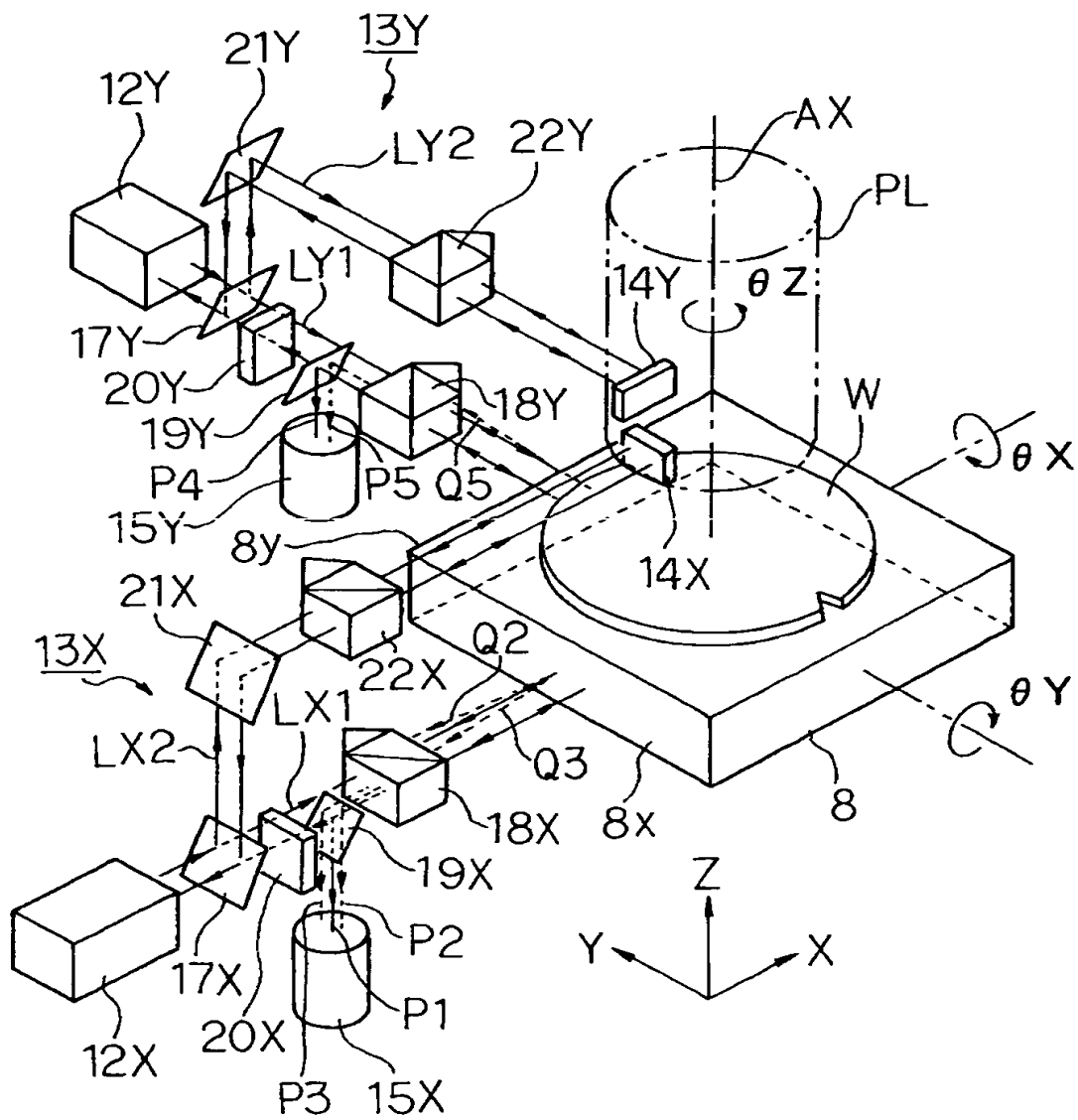
【特許出願人】
【識別番号】 000004112
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
【氏名又は名称】 株式会社ニコン
【代理人】 申請人
【識別番号】 100098165
【住所又は居所】 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501
大森特許事務所
【氏名又は名称】 大森 聡

【書類名】 図面

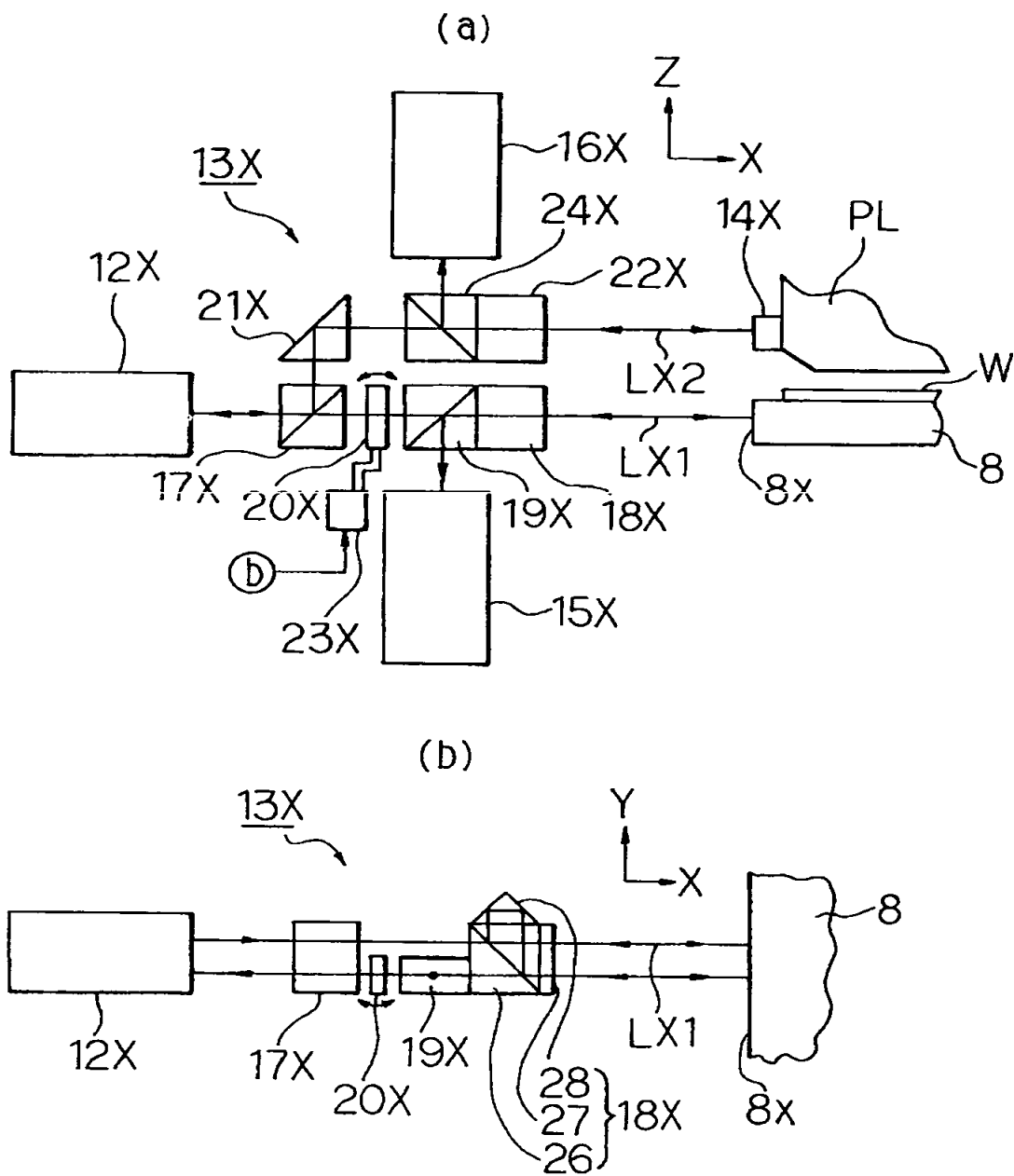
【図 1】



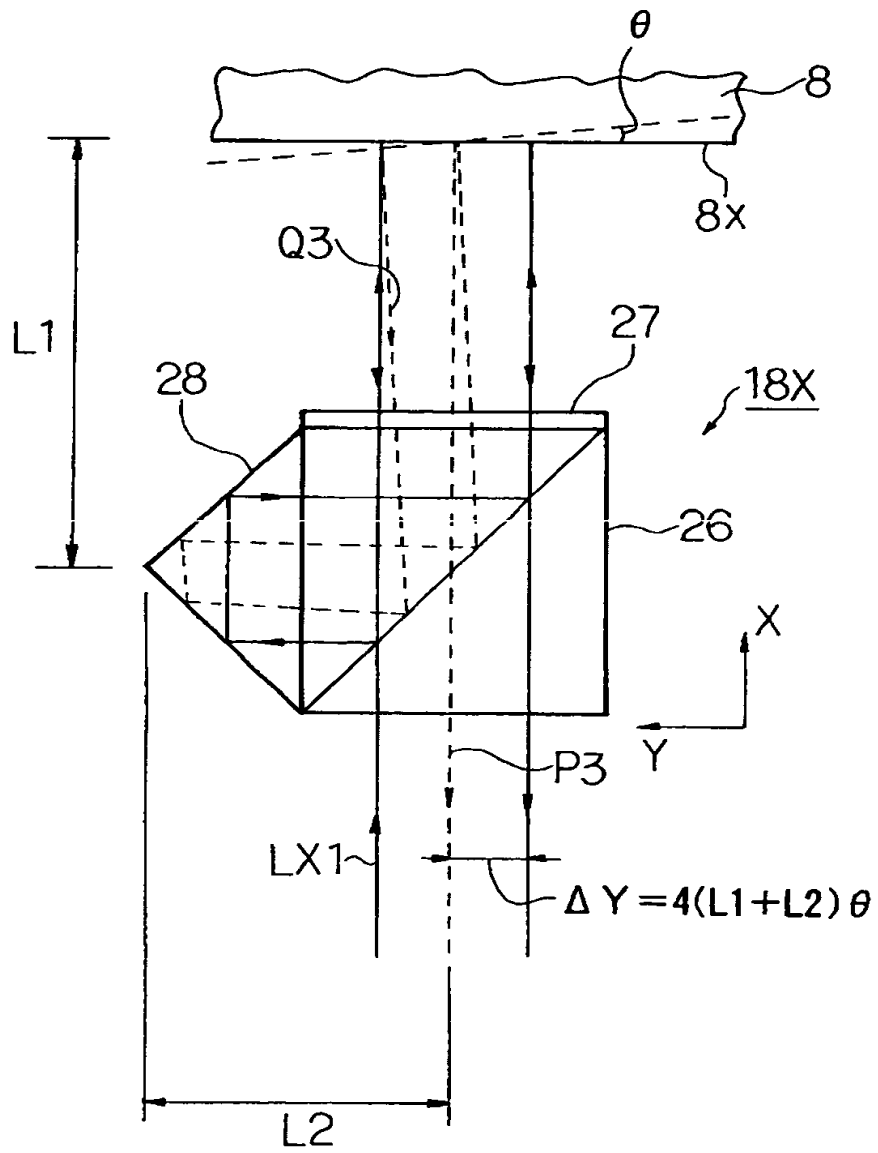
【図 2】



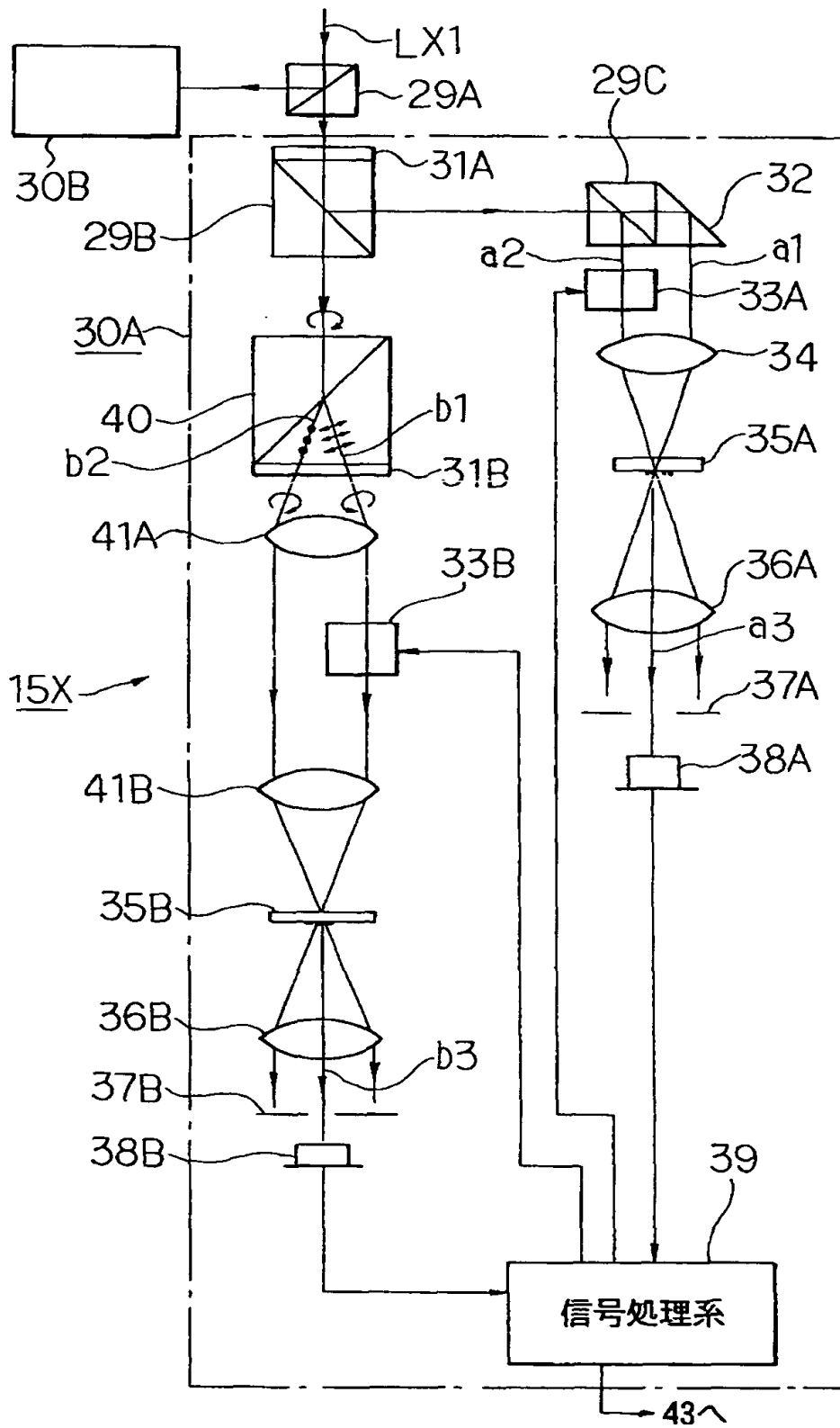
【図 3】



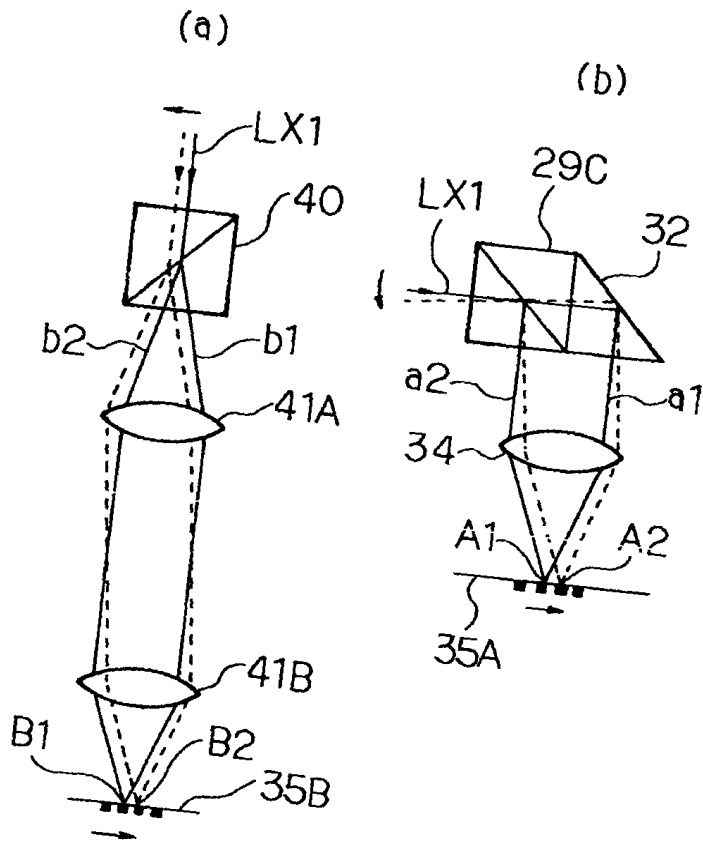
【図4】



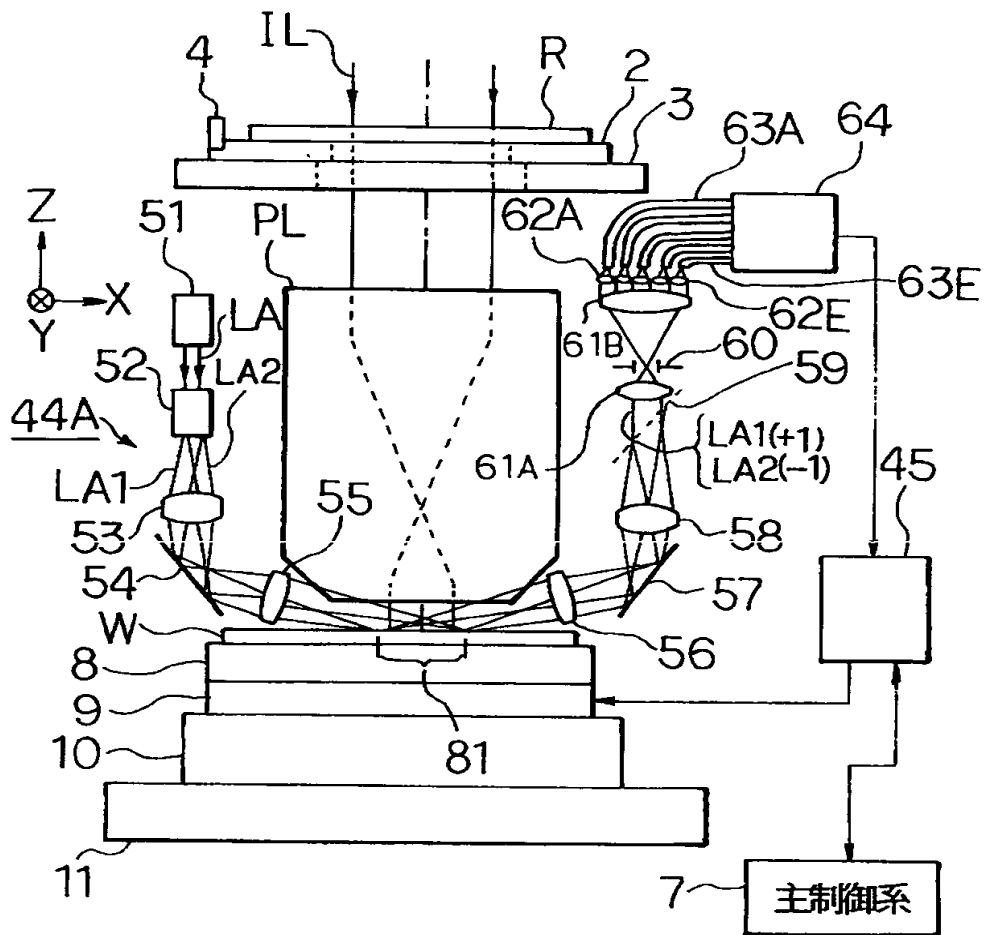
【図 5】



【図6】



【図 7】



【図 8】

